

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

**DEMONSTRAČNÍ ÚLOHA ZAMĚŘUJÍCÍ SE NA MĚŘENÍ
PLC KOMUNIKACE**

POWER LINE COMMUNICATION - DEMONSTRATION TEST BED

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petra Jureková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Mlýnek, Ph.D.

BRNO 2017



Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Teleinformatika**

Ústav telekomunikací

Studentka: Petra Jureková

ID: 171197

Ročník: 3

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Demonstrační úloha zaměřující se na měření PLC komunikace

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Rozeberte současné možnosti PLC komunikace. Seznamte se s laboratorními úlohami PLC modemy předmětu Vyšší techniky datových přenosů a navrhnete možnosti vylepšení těchto úloh. Realizujte sadu měření PLC komunikace s dalšími dostupnými modemy a navrhnete s vybraným modemem novou úlohu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Hrasnica, H. Broadband Powerline Communications Networks. John Wiley & Sons, Chichester 2004. ISBN 0-470-85741-2.

[2] Power line communications: theory and applications for narrowband and broadband over power lines. 1st ed. Editor Hendrik Ferreira. Chichester: John Wiley, 2010, 507 s. ISBN 978-047-0740-309.

Termín zadání: 1.2.2017

Termín odevzdání: 8.6.2017

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Mlýnek, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Táto práca je zameraná na dátovú komunikáciu po elektrickom vedení - Power Line Communication (PLC). Venuje sa PLC komunikácii, súčasným možnostiam tejto komunikácie a dvom základným typom prenosov – širokopásmový a úzkopásmový, a podrobne ich porovnáva. Hlavnou témou je vplyv rušenia PLC signálu a vplyv vzdialenosti na efektivitu prenosu. V rámci toho je spracovaná analýza zdrojov so zameraním na spôsob merania PLC komunikácie a na dôsledky vplyvu rušenia a vzdialenosti.

Praktická časť práce obsahuje mnoho typov meraní so zameraním najmä na širokopásmové modemy. Boli vykonané merania ako v domácom, tak aj v laboratórnom prostredí. Výsledky ukazujú na vplyv vzdialenosti a rušenia na priepustnosť siete a aj na výkonové charakteristiky PLC signálu. Pri meraniach bola okrem iného využívaná aj metodika RFC 2544.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

PLC, modem, úzkopásmový prenos, širokopásmový prenos, modulácia v PLC, rušenie, spektrálny analyzátor, Tester Exfo FTB-1, RFC 2544

ABSTRACT

This thesis is focused on data communication through electrical power grid - PLC Power Line Communication (PLC). It describes PLC communication, its present possibilities and two main types of transmission - broadband and narrowband, which are compared in detail. Major topic is an impact of noise on PLC signal and effect of growing distance on transmission efficiency. Within that is processed the analysis of distance and noise influence. Practical part of the thesis contains many types of measurements focusing especially on broadband modems. Measurements were performed both in the home and in the laboratory environment. The results show the effect of the distance and interference on the network throughput and the spectral power of the PLC signal. The RFC 2544 methodology was also used for measurements.

KEYWORDS

PLC, modem, narrowband transmission, broadband transmission, modulation scheme in PLC, noise, spectral analyzer, Tester Exfo FTB-1, RFC 2544

JUREKOVÁ, Petra *Demonstrační úloha zaměřující se na měření PLC komunikace*: bakalárska práca. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2017. 59 s. Vedúci práce bol doc. Ing. Petr Mlýnek, Ph.D.

VYHLÁSENIE

Vyhlasujem, že som svoju bakalársku prácu na tému „Demonstrační úloha zaměřující se na měření PLC komunikace“ vypracoval(a) samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce, využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor(ka) uvedenej bakalárskej práce ďalej vyhlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil(a) autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol(-la) nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomý(-á) následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona Českej republiky č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákoníka Českej republiky č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

POĎAKOVANIE

Rada by som poďakovala vedúcemu bakalárskej práce pánovi doc. Ing. Petrovi Mlýnkovi, Ph.D. za odborné vedenie, konzultácie, trpezlivosť a podnetné návrhy k práci.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

POĎAKOVANIE

Výzkum popsaný v tejto bakalárskej práci bol realizovaný v laboratóriách podporených projektom SIX; registračné číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operačný program Výzkum a vývoj pro inovace.

Brno

.....
podpis autora(-ky)

OBSAH

Úvod	11
1 Technológia PLC	12
1.1 Elektrická distribučná sieť	12
1.2 Prenos dát po elektrickej sieti	13
1.3 Útlm signálu	13
2 Rozdelenie PLC prenosov	14
2.1 Úzkopásmové PLC	14
2.1.1 Súčasné využitie úzkopásmovej PLC technológie	15
2.1.2 Modulácie v úzkopásmovom PLC	16
2.1.3 Štandardy pre úzkopásmové PLC zariadenia	17
2.2 Širokopásmové PLC	18
2.2.1 Využitie širokopásmového PLC	18
2.2.2 Modulácia s viacerými nosnými vlnami – OFDM	19
2.2.3 Štandardy pre širokopásmové PLC	20
3 Analýza dostupných meraní	21
3.1 Vplyv vzdialenosti na prenosovú rýchlosť	21
3.2 Vplyv elektrických zariadení pripojených do siete	22
3.3 Vplyv útlmu a impedancie signálu na PLC prenos	25
4 Realizácia meraní PLC prenosu	27
4.1 Meranie s úzkopásmovými modemami	
ModemTech	27
4.1.1 Scenáre merania	27
4.1.2 Výsledky merania	28
4.2 Meranie so širokopásmovými modemami	
Linksys a ZyXEL v domácom prostredí	29
4.2.1 Scenáre merania závislosti prenosovej rýchlosti na dĺžke prenosovej cesty	29
4.2.2 Výsledky merania závislosti prenosovej rýchlosti na dĺžke prenosovej cesty	30
4.2.3 Scenáre merania rýchlosti prenosu pri pripojení spotrebičov do prenosovej cesty	30
4.2.4 Výsledky merania rýchlostí stahovania pri pripojení spotre- bičov do prenosovej cesty	31

5	Meranie výkonu a priebehu	
	PLC komunikácie	32
5.1	Použité prístroje	32
5.1.1	ZyXEL PLA 5206 v2	32
5.1.2	Tester Exfo FTB-1	32
5.1.3	Nastavenia Testeru Exfo FTB-1 a metodika RFC 2544	32
5.1.4	Spektrálny analyzátor	35
5.1.5	Zdroj rušenia PLC komunikácie	35
5.2	Meranie vplyvu rušenia na prenos	36
5.2.1	Meranie pri minimálnej vzdialenosti	36
5.2.2	Meranie pri vzdialenosti 20 m	37
5.3	Meranie priepustnosti a strátovosti siete pri zmene dátovej rýchlosti	38
5.4	Merania pri zmene parametrov testu RFC 2544	40
6	Záver	43
	Literatúra	45
	Zoznam symbolov, veličín a skratiek	48
	Zoznam príloh	49
A	Návod na obsluhu spektrálneho analyzátora GW Instek GSP-830	50
A.1	Nastavenie základných parametrov pre meranie	50
A.2	PC software	52
B	Návrh rozšírenia laboratórnej úlohy: PLC modemy – Meranie na širokopásmových PLC modemoch s generátorom šumu	55

ZOZNAM OBRÁZKOV

1.1	Štruktúra energetickej siete	12
1.2	Bloková schéma PLC prenosu	13
2.1	Využitie úzkopásmového PLC [1]	16
2.2	Využitie širokopásmových PLC modemov v domácnosti	19
3.1	Závislosť priepustnosti a RTT na vzdialenosti pre PLC a 802.11g [15]	22
3.2	Priepustnosť UDP meniac sa v čase medzi dvomi uzlami predlžova- cieho kábla [15]	23
3.3	Vplyv elektrických zariadení na RTT medzi dvomi uzlami [15]	24
3.4	Pokles pripustnosti na základe účinku osvetlenia a ventilátora [19]	24
3.5	Pokles priepustnosti siete pri zapínaní dvoch nabíjačiek na mobil [19]	25
3.6	Závislosť útlmu na vzdialenosti a frekvencii [20]	26
3.7	Závislosť pripustnosti na útlme [21]	26
4.1	Schéma zapojenia MT39-L1	27
4.2	Výsledný graf priebehu komunikácie koncových zariadení	28
5.1	Základné nastavenie testu RFC 2544 na testeri Exfo FTB-1	33
5.2	Nastavenie subtestov	33
5.3	Spektrum signálu v sieti bez zapnutia a pri zapnutí zdroju rušenia	35
5.4	Spektrum signálu u modemov zapojených pri sebe	36
5.5	Spektrum signálu u modemov zapojených cez rúter na vzdialenosť 20 m	37
5.6	Vplyv dátových rýchlostí na priepustnosť a strátovosť pre 512 B rámec	39
5.7	Porovnanie hodnôt priepustností na vrstvách TCP/IP modelu (pri dátovej rýchlosti 1000 Mbit/s	39
5.8	Graf závislosti priepustnosti na parametri Accuracy	40
5.9	Graf závislosti priepustnosti na parametri Validations	41
5.10	Graf závislosti strátovosti na parametri Granularity	42
A.1	Spektrálny analyzátor GW Instek GSP-830 - predný panel	50
A.2	Prostredie programu EagleShot	52
B.1	Schéma zapojení úlohy	57
B.2	Ukážka frekvenčného spektra PLC signálu zo spektrálneho analyzátora	59

ZOZNAM TABULIEK

2.1	Prehľad základných charakteristík PLC prenosov [8]	14
2.2	Porovnanie štandardov úzkopásmového PLC [14]	18
2.3	Maximálne prenosové rýchlosti štandardizácií pre širokopásmové PLC	20
3.1	Výsledok testu priepustnosti [18]	21
3.2	Príkony jednotlivých domácich spotrebičov [15]	23
4.1	Technické parametre použitého modemu	27
4.2	Technické parametre použitých plug-in modemov	29
4.3	Výsledky rýchlostí sťahovania s plug-in PLE500 a PLA5206	30
4.4	Výsledky doby stiahnutia dát s plug-in PLE500 a PLA5206	31
5.1	Výsledky nameraných hodnôt pri minimálnej vzdialenosti modemov	36
5.2	Výsledky nameraných hodnôt pri vzdialenosti 20 m	37
5.3	Výsledky nameraných hodnôt pri zmene dátovej rýchlosti	38
5.4	Výsledky dôb vykonávania testu pri zmene parametra Accuracy pri priepustnosti	40
5.5	Výsledky dôb vykonávania testu pri zmene parametra Validations pri priepustnosti	41
B.1	Ukážka výsledku testu priepustnosti metodiky RFC 2544	59
B.2	Ukážka výsledku testu strátovosti metodiky RFC 2544	59

ÚVOD

Dnešná doba nám poskytuje množstvo spôsobov komunikácie. Už od minulého storočia sa začalo experimentovať s využitím elektrických rozvodných sietí za účelom prenosu dát. Odvtedy bolo vykonaných mnoho výskumov a testov, no záujem vzrástol hlavne v 90-tych rokoch.

Táto práca sa venuje technológii Power Line Communication (PLC) – komunikácii prostredníctvom elektrickej siete, jej základnému rozdeleniu, použitiu a vplyvom, ktoré znižujú jej výkonnosť a efektívnosť.

V prvej časti práce je vo všeobecnosti rozobratá PLC technológia, štruktúra distribučnej siete, spôsob prenosu signálu a útlm, ktorý spôsobuje znižovanie priepustnosti PLC siete.

Druhá časť porovnáva a rozdeľuje PLC prenosy na dva základné typy: úzkopásmový a širokopásmový. V rámci každého typu je rozobraté súčasné využitie, modulácie signálu a štandardizácie, definované pre daný PLC prenos.

Tretia kapitola sa venuje analýze rôznych zahraničných zdrojov, ktoré sa zaoberajú meraním výkonnosti PLC siete a vplyvom na jej efektívnosť; napríklad vplyv vzdialenosti na rýchlosť prenosu a prenosovú rýchlosť, vplyv elektrických zariadení na signál alebo vplyv impedancie a frekvencie na útlm signálu a následne priepustnosť siete.

V ďalšej časti časti je zdokumentované vlastné meranie s úzkopásmovými modemami v laboratórnom prostredí a vlastné meranie so širokopásmovými modemami v domácom prostredí. V meraniach so širokopásmovými modemami boli porovnané dva typy modemov so zameraním na rýchlosti siete na aplikačnej vrstve.

V rámci piatej kapitoly sú zdokumentované merania s novými druhmi prístrojov. Spektrálny analyzátor GW Instek GSP-830 je využívaný na zobrazenie frekvenčného spektra PLC signálu. Na zmeranie parametrov PLC siete sa používal sieťový tester Exfo FTB-1, ktorý umožňuje veľké množstvo nastavení. Podrobnejšie je rozoberaná metodika RFC 2544 a možnosti nastavenia testov, ktoré sú nahraté v testeri.

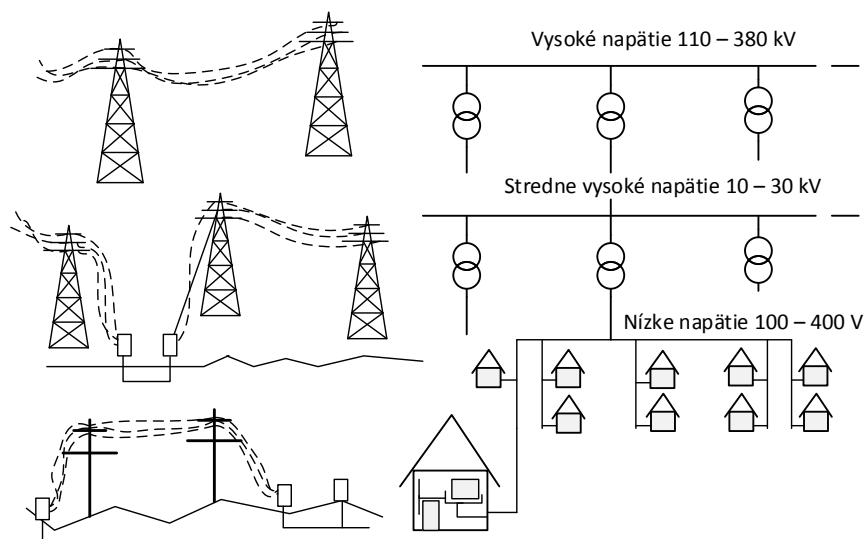
1 TECHNOLOGIA PLC

PLC je technológia, ktorá na prenos dát využíva elektrické rozvodné siete, pôvodne navrhnuté pre distribúciu elektrickej energie. Vďaka tomu nie je potrebná inštalácia kabeláže telekomunikačných sietí a sieťových prvkov. Keďže elektrické vedenie nie je pôvodne navrhnuté tak, aby plnilo funkciu prenosu dát, dochádza k útlmom, stratám na vedení a rušeniu spôsobenému napríklad pripojením iných elektrických zariadení do siete. Ďalším problémom, ku ktorému dochádza je znižovanie prenosovej rýchlosti a strata signálu v závislosti na dĺžke prenosovej cesty.

1.1 Elektrická distribučná sieť

Elektrická distribučná sieť je rozdelená do troch základných napäťových úrovní podľa účelu využitia [1]:

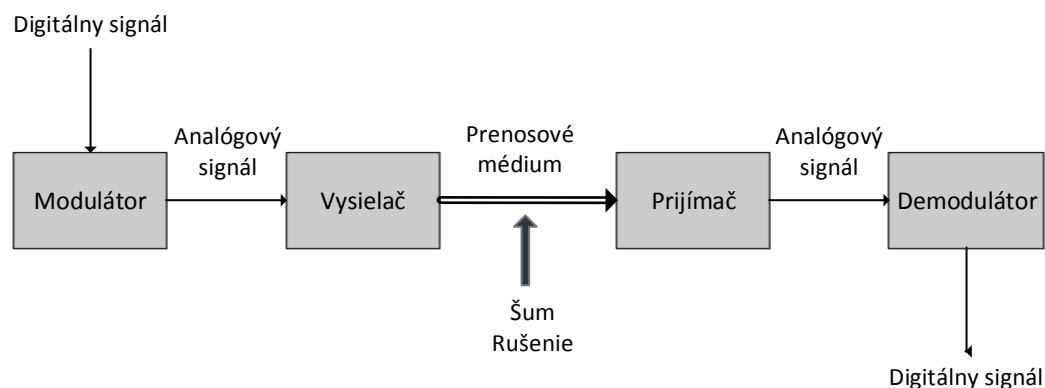
- Vysoké napätie (VN), od 110 do 380 kV, spája rozvodné stanice s regiónmi a najväčšími odoberateľmi, rozvádza napätie na veľmi dlhé vzdialenosti pomocou nadzemného vedenia.
- Stredne vysoké napätie (SVN), od 10 do 30 kV. Sieť pokrýva mestá a dodáva energiu veľkým priemyselným podnikom.
- Nízke napätie (NN), 100 – 400 V. Služí pre dodávku elektrickej energie samotným koncovým užívateľom hlavne podzemnou kabelážou.



Obr. 1.1: Štruktúra energetickej siete

1.2 Prenos dát po elektrickej sieti

U PLC technológie je na prenos využívaná analógová elektrická sieť. Dáta sú prenášané elektrickou sieťou využitím moderných modulačných techník. Zmenou parametrov analógového signálu pomocou modulátora dosiahneme to, že namodulovaný analógový signál sprostredkuje číselné dáta, ktoré cieľová strana opäť demoduluje na potrebný digitálny signál [2].



Obr. 1.2: Bloková schéma PLC prenosu

V rámci PLC technológií sú pri prenose používané rôzne typy modulácií, ktoré budú podrobnejšie rozoberané v kapitolách 2.1.2 a 2.2.2.

1.3 Útlm signálu

Útlm signálu je strata intenzity signálu počas jeho prenosu a u PLC je závislý hlavne na impedancii média, ktorá sa mení najmä s fyzickou dĺžkou prenosového média a jeho frekvenčným pásmom [5], viď kap. 3.3. Veľmi nízka impedancia vedenia NN siete býva častou príčinou útlmu signálu, čo spôsobuje chyby pri prenose. Veľké útlmy na vedení vyžadujú časté používanie opakovačov signálu, vo vzdialenosti menej ako 1km. VN siete sú oveľa výhodnejšie, pretože prenosy dosahujú vzdialenosti niekoľkých desiatok kilometrov bez použitia opakovačov [6].

2 ROZDELENIE PLC PRENOSOV

Komunikácia po elektrickej sieti je myšlienkou, ktorá vznikla už na začiatku 19. storočia. Odvtedy rozvodné spoločnosti po celom svete začali postupne používať úzkopásmovú technológiu s jednou nosnou vlnou s účelom diaľkových meraní a ovládania (HDO – hromadné diaľkové ovládanie). Technológia pracuje v nízko-frekvenčných pásmach, ktoré dosahujú dátové rýchlosti od niekoľkých bitov za sekundu do stoviek kilobitov za sekundu. Dosah tohto prenosu môže byť až jeden kilometer.

Postupne ako sa technológia vyvíjala, začali sa na trhu objavovať širokopásmové PLC systémy, ktoré pracujú na vysokých frekvenciách od 2 MHz a dosahujú prenosové rýchlosti na fyzickej vrstve až 200 Mbit/s. Ich využitie je najmä v domácnostiach pri vysokorýchlostnej komunikácii a pripojení na internet.

V posledných rokoch sa priemysel vyvíja aj v oblasti úzkopásmovej PLC technológie založenej na technike viacerých nosných vln, čo zabezpečí rýchlejší prenos v širších frekvenčných pásmach od 3 do 500 kHz [7]. Typy PLC prenosov budú podrobnejšie rozoberané v nasledujúcich kapitolách.

Tab. 2.1: Prehľad základných charakteristík PLC prenosov [8]

	Úzkopásmové PLC	Širokopásmové PLC
Prenosová rýchlosť	do 500 kbit/s	až do 2 Gbit/s
Dosah prenosu	do 1 km	do 300 m
Frekvencia	do 500 kHz	2 – 30 MHz
Modulácia	FSK, S-FSK, BPSK, SS, OFDM	OFDM
Výrobcovia	Yitran Texas Instruments Echelon Cypress Adriane Controls	Atheros Broadcom Sigma Maxim Marvell

2.1 Úzkopásmové PLC

Úzkopásmové PLC využíva na prenos dát iba úzke pásmo frekvencií. Prenosy pracujú vo frekvenčných rozsahoch, ktoré sú v Európe dané normou CENELEC EN 50065-1. Táto norma sa týka elektrických zariadení, ktoré používajú signály vo frekvenčnom rozsahu od 3 kHz do 148,5 kHz na vysielanie informácií v elektrických sieťach nízkeho napätia, a to buď vo verejných rozvodných sieťach, alebo v inštaláciách v objektoch odberateľov. Táto norma stanovuje frekvenčné pásma

pridelené na rozličné použitia, medze pre koncové výstupné napätie v pracovnom pásme a medze pre rušenie šírené vedením a vyžarovaním [9]. Norma nešpecifikuje modulačné metódy ani metódy kódovania. Cieľom tejto normy je obmedziť vzájomnú interferenciu prenosu medzi zariadeniami.

Používaný frekvenčný rozsah je rozdelený do 4 pásiem [10]:

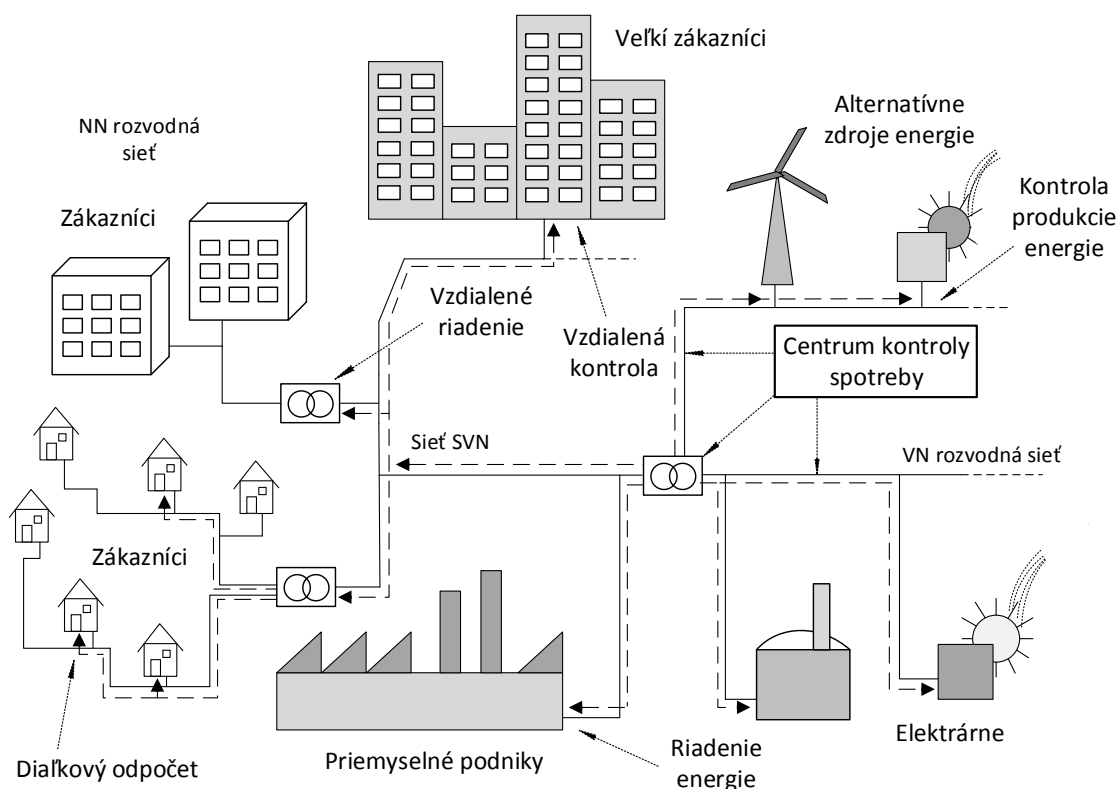
- pásmo A (3 – 95 kHz), vyhradené pre energetické spoločnosti
- pásmo B (95 – 125 kHz), ktoré môže byť využívané bez prístupového protokolu
- pásmo C (125 – 140 kHz), vyhradené pre domáce siete; prístupový protokol Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) je povinný, pretože podporuje existenciu viacerých nekompatibilných systémov v rovnakom frekvenčnom pásme
- pásmo D (140 – 148,5 kHz), určené pre Elektronické zabezpečovacie systémy (EVS) bez akéhokoľvek prístupového protokolu.

Pre všetky štyri frekvenčné pásma sú vyžadované maximálne úrovne výstupného signálu podľa EN 50065-1 pre prenos signálu po elektrickej sieti. Úroveň výstupu v dBV je daná logaritmickým pomerom vstupnej a výstupnej amplitúdy signálu. Pre použitie v domácej sieti je najvhodnejšie pásmo C s maximálnou výstupnou úrovňou 116 dB_μV. Maximálna úroveň výstupného signálu musí byť kontrolovaná detektorom úrovne vrcholu signálu [10].

2.1.1 Súčasné využitie úzkopásmovej PLC technológie

Úzkopásmové PLC má v dnešnej dobe potencionálne veľké možnosti v oblasti kontroly elektrických zariadení a ich riadenia. Pásmo A normy CENELEC je využívané energetickými spoločnosťami za účelom vzdialenej komunikácie medzi elektrickými rozvodnými stanicami pri napätiach od 110kV do 400kV. Používa sa pri pokročilých technikách riadenia spotreby energie, ako napríklad Open Automated Demand Response (OpenADR) alebo Open Home Area Network (OpenHAN), pri automatických odpočtoch z domových elektromerov, pri riadení energetických sietí a pouličného osvetlenia [11], pričom vzdialenosť medzi uzlami nemôže byť väčšia ako 1km. V tom prípade musia byť použité opakovače [1].

Pásma B, C sú určené hlavne pri realizácii komunikácie a automatizácie v samotných budovách a domácnostiach. Automatizované systémy fungujúce na PLC sú využívané napríklad na riadenie rôznych zariadení, ktoré sú pripojené k elektroinštalácii, ako osvetlenie, kúrenie a klimatizácia, automatické rolety, výtahy, ale aj práčky alebo chladničky [1]. Pre poplašné a bezpečnostné systémy EVS je určené pásmo D normy CENELEC EN 50065-1 [10].



Obr. 2.1: Využitie úzkopásmového PLC [1]

2.1.2 Modulácie v úzkopásmovom PLC

Úzkopásmové prenosy sú založené hlavne na modulácii s jednou nosnou vlnou alebo modulácii s rozprestretým spektrom. V dnešnej dobe je u úzkopásmového PLC veľmi využívaná aj modulácia s viacerými nosnými vlnami, no tá bude podrobne rozobratá pri širokopásmových prenosoch, viď kapitola 2.2.2.

Modulácia s jednou nosnou vlnou

Úzkopásmové PLC využíva na prenos najmä tento typ modulácie, kde pri prenose dát je využitá iba jedna nosná vlna. Vysielače pri modulácii používajú hlavne Phase Shift Keying (PSK) a Frequency Shift Keying (FSK) modulácie. Amplitude Shift Keying (ASK) sa pri prenose PLC nepoužíva, pretože nemá vhodné vlastnosti pre tento prenos. Pre Binary Phase Shift Keying (BPSK) je v nosnej vlne uložený jeden bit, pre Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) 2bity, pre 16QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 4bity a pre 64QAM 16bitov [12].

Satelitné komunikačné systémy, Global System for Mobile Communications (GSM), Code Division Multiple Access (CDMA), Hands-free (HF) a iné rádiové systémy

využívajú prenos s jednou nosnou [12]. Čo sa týka PLC technológie, napríklad vysielače Echelon používajú BPSK moduláciu. Vysielače od STMicroelectronics typ ST7537-7540 sú založené na Binary Frequency Shift Keying (BFSK), takisto ako AC-PLM-1 modem. Technológia jednej nosnej má tú výhodu, že poskytuje spoľahlivú komunikáciu so zníženou spotrebou energie a s nízkymi nákladmi. Nízka prenosová rýchlosť, zvyčajne do 10 kbit/s, činí túto technológiu vhodnú pre vzdialené riadenie, kontrolu, meranie a monitorovanie. Hlavnou nevýhodou PLC systémov s jednou nosnou je ich citlivosť na úzkopásmový šum a skreslenie signálu [8].

Modulácia s rozprestretým spektrom

Ďalší typ modulácie využívanej pri úzkopásmovom prenose je modulácia s rozprestretým spektrom. Táto technika rozprestiera úzke spektrum signálov prenášajúceho informáciu do širšieho pásma frekvencií. V dôsledku toho prenášaný signál zaberá väčšiu šírku pásma, a tým sa zvyšuje odolnosť voči rušeniu a hluku z elektrického vedenia. Existuje niekoľko implementácií tejto technológie do PLC systémov. Najznámejšie sú modemy Yitran, ktoré využívajú Differential Code Shift Keying (DCSK) moduláciu [8].

2.1.3 Štandardy pre úzkopásmové PLC zariadenia

Nízkorýchlostné – Low Data Rate (LDR) úzkopásmové PLC pracujúce na rýchlostiach do niekoľkých kbit/s je založené na technológii jednej nosnej vlny. Jedným z prvých schválených štandardov z roku 1999 je štandard ANSI/EIA 709.1, známy aj ako LonWorks, ktorý sa v roku 2008 stal medzinárodným štandardom ISO/IEC 14908-1. LonWorks vysielače sú určené pre prevádzku v dvoch frekvenčných pásmach normy CENELEC: v pásme A pre elektrické rozvodné siete, a v pásme C pri prevádzke v domácnostiach a pre priemyselné využitie. Ďalšie príklady LDR úzkopásmových PLC technológií sú zariadenia pracujúce na nasledujúcich doporučeníach: ISO/IEC 14543-3-5 (KNX), CEA-600.31 (CEBus), IEC 61334-5 (pre FSK a SFSK). Doporučenia organizácii bez zamerania na štandardy sú napríklad Insteon, X10, HomePlug CC, SITRED, Ariane Controls, BacNet [7] [13].

Vysokorýchlostné – High Data Rate (HDR) úzkopásmové PLC s Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM) moduláciou dosahujú prenosové rýchlosti až do 500 kbit/s. Typickým príkladom sú štandardy: ITU-T G.hnem a IEEE 1901.2. Ďalším príkladom sú štandardy G3-PLC a PRIME, vytvorené ako technológie spoločností G3-PLC Alliance a PRIME Alliance, ktoré sa nedávno stali medzinárodnými štandardmi pre HDR úzkopásmové prenosy s moduláciou s viacerými nosnými. PRIME je založený na OFDM technike v pásme A normy CENELEC, s prenosovými rýchlosťami do 125 kbit/s. G3-PLC navyše podporuje protokol IPv6 [13]. Hlavný

rozdiel medzi PRIME a G3-PLC je, že G3-PLC je robustnejší, kým PRIME je menej komplexný.

Tab. 2.2: Porovnanie štandardov úzkopásmového PLC [14]

Štandard	Modulácia	Frekvenčné pásmo	Prenosová rýchlosť
G3-PLC	OFDM	36 – 90,6 kHz	5,6 – 45 kbit/s
PRIME	OFDM	42 – 89 kHz	21,4 – 128,6 kbit/s
IEEE P1901.2	OFDM	9 – 500 kHz	do 250 kbit/s
ANSI/EIA 709.1,.2	BPSK	86,131 kHz	3,6 – 5,4 kbit/s
KNX	S-FSK	125 – 140 kHz	1,2 kbit/s
IEC61334	S-FSK	CENELEC-A	2,4 kbit/s

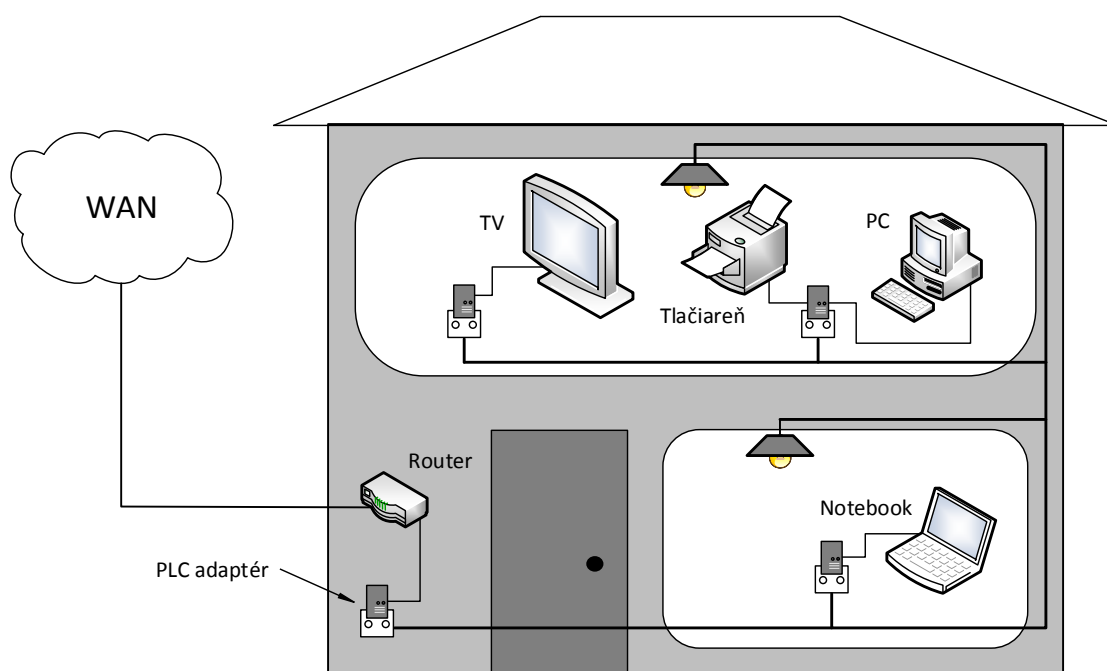
2.2 Širokopásmové PLC

Širokopásmové PLC systémy pracujú v omnoho vyšších frekvenčných pásmach, od 1,8MHz do 250MHz, ako úzkopásmové. Dôsledkom využívania širšieho spektra frekvencií je, že poskytujú omnoho väčšie prenosové rýchlosti. Dosahované rýchlosti môžu byť až 200 Mbit/s, no prenos na vzdialenosti viac ako 300 m nie je možný.

Kedže PLC sieť sa správa ako anténa, je zdrojom rušenia pre iné komunikačné systémy, ktoré pracujú na rovnakých frekvenciách, napríklad spektrum rádia. Kvôli tomu je širokopásmový PLC prenos obmedzený a znižujú sa tým prenosové rýchlosti a vzdialenosti dosahu. Ďalšou príčinou znižovania prenosových rýchlostí a dosahu sú rušenia iných spotrebičov a elektrických zariadení pripojených v sieti [1], viď kapitola 3.1.

2.2.1 Využitie širokopásmového PLC

Často nastáva situácia, kedy v budovách nie je inštalovaná kabeláž pre pevné pripojenie, alebo vo veľkých mestách je Wi-Fi spektrum preplnené a nie je možné nastaviť požadovaný výkon signálu. Vtedy je najlepším riešením využitie existujúcej elektrickej siete. Širokopásmová PLC technológia poskytuje pri internetovej distribúcii a v domácich užívateľských sieťach v dnešnej dobe realizovateľnú alternatívu pevného Ethernet pripojenia a Wi-Fi pripojenia [15]. Na širokopásmovom kanáli je možné realizovať viacero telekomunikačných služieb – viacnásobné hlasové spojenie, vysokorýchlostné pripojenie, prenos videa a takisto všetky úzkopásmové služby [1]. Je možné prepojiť zariadenia ako počítače, telefóny a tlačiarne, viď obr. 2.2



Obr. 2.2: Využitie širokopásmových PLC modemov v domácnosti

2.2.2 Modulácia s viacerými nosnými vlnami – OFDM

Modulácia s viacerými nosnými vlnami je využívaná hlavne v širokopásmovom PLC, ale aj pri úzkopásmových prenosoch. Najznámejšia je OFDM. Zariadenia fungujúce s OFDM boli navrhnuté priemyselnými alianciami ako PRIME a G3-PLC [8].

OFDM je metóda modulácie dát do veľkeho počtu subnosných vln v rôznych frekvenciách, kde každá subnosná je nezávislá a neruší vedľajšie subnosné vlny. Každá vlna je klasifikovaná ako kanál prenášajúci dáta, ktorý je modulovaný určitou modulačnou technikou použitou v modeme, napr. BPSK, QPSK, QAM [16].

Dáta sú prenášané veľkým množstvom blízko umiestnených ortogonálnych subnosných, preto je prenosová rýchlosť omnoho vyššia. Najväčšia výhoda OFDM je prispôsobivosť na meniace sa podmienky prenosového kanálu. S OFDM môžu byť vybrané vhodné subnosné vlny, aby sa vyhlo prenosu na frekvenciách, kde je odstup signál-šum (SNR) nízky [8] [12].

2.2.3 Štandardy pre širokopásmové PLC

V súčasnosti sa štandardizáciou pre širokopásmové PLC zaoberá niekoľko inštitúcií, napr. medzinárodná organizácia PLCforum, spoločnosť HomePlug Powerline Alliance, High Definition PLC Alliance, HomeGrid Forum atď. Tieto inštitúcie definujú špecifikácie pre výrobcov PLC zariadení, napríklad HomePlug 1.0, HomePlug AV, HomePlug AV2, viď tab. 2.3.

Prvý oficiálne schválený štandard pre širokopásmové PLC bol TIA-1113. Štandard je z veľkej časti založený na doporučeníach HomePlug 1.0 a definuje zariadenia založené na OFDM pri prenosovej rýchlosti 14 Mbit/s na fyzickej vrstve [7].

Štandard IEEE 1901 určuje dva typy širokopásmového PLC; FFT-OFDM, ktorý je kompatibilný s HomePlug AV, a Wavelet-OFDM, ktorý je naopak kompatibilný doporučeniami HD-PLC. Podmienkou je, že zariadenia musia dosahovať aspoň 100 Mbit/s a musia v ich implementácii zahŕňať Inter-System Protocol (ISP).

ITU-T G.hn štandard začal v roku 2006 s cieľom vybudovať celosvetovú štandardizáciu pre zariadenia schopné vyslať cez všetky typy domácich médií – telefónne linky, koaxiálny kábel a Cat5 na prenosových rýchlostiach až do 1 Gbit/s [7].

Tab. 2.3: Maximálne prenosové rýchlosti štandardizácií pre širokopásmové PLC

Štandard	Maximálna prenosová rýchlosť
ITU-T G.hn	1 Gbit/s
IEEE 1901	545 Mbit/s
HomePlug 1.0	14 Mbit/s
HomePlug AV	200 Mbit/s
HomePlug AV2	2 Gbit/s
HomePlug GP (“Green PHY”)	10 Mbit/s

3 ANALÝZA DOSTUPNÝCH MERANÍ

3.1 Vplyv vzdialenosti na prenosovú rýchlosť

Meranie v zdroji [18] sa zaoberá výkonom PLC siete v domácom prostredí so štandardizáciou HomePlug 1.0, založenej na OFDM a Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance CSMA/CA. Zariadenia, ktoré podporujú HomePlug 1.0 umožňujú vysokorýchlostnú komunikáciu po nízkonapäťovej rozvodnej sieti. V rámci zdroja prebehli merania priepustnosti PLC siete v rodinnom dome so zariadeniami podporujúcimi HomePlug 1.0 a za prítomnosti pôsobenia rôznych záťaží siete. Maximálna prenosová rýchlosť u HomePlug 1.0 na fyzickej vrstve je 14 Mbit/s, čo je možné len pri ideálnych podmienkach. Prenosová rýchlosť na fyzickej vrstve je maximálna rýchlosť, akou sa dáta môžu pohybovať po médiu. Užívateľské prenosy, ako napríklad prenos súborov alebo prezeranie webových stránok sa odohrávajú na aplikačnej vrstve. Rýchlosť na aplikačnej vrstve, alebo priepustnosť, bude spravidla nižšia ako prenosová rýchlosť na fyzickej vrstve. Výsledky meraní TCP priepustnosti, rýchlosti na aplikačnej vrstve, sú zaznamenané v tab.3.1. Z tabuľky vyplýva, že s narastajúcou vzdialenosťou klesá aj priepustnosť, no nie vo všetkých prípadoch. To môže byť spôsobené premenlivou záťažou siete a rozdielnymi vplyvmi rušení elektrických zariadení pripojených na prenosovej ceste.

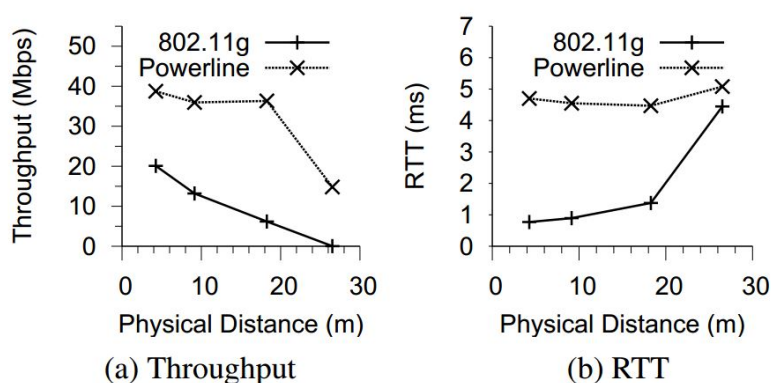
Tab. 3.1: Výsledok testu priepustnosti [18]

	Vzdialenosť [m]	TCP priepustnosť [Mbit/s]
Jedáleň – Jedáleň	0,6	5,2
Komora – Jedáleň	7,01	5,3
Kancelária – Kuchyňa	10,67	4,5
Kuchyňa – Kancelária	10,67	3,1
Bazén – Kancelária	18,29	1,6
Kancelária – Bazén	19,29	3,9
Detská izba – Kancelária	21,34	1,8
Kancelária – Detská izba	21,34	3,9

V nasledujúcom zdroji [15] bolo uskutočnené meranie so širokopásmovými PLC adaptérmí Linksys PLK200, ktoré podporujú prenosové rýchlosti na fyzickej vrstve až 200 Mbit/s. Použité adaptéry podporujú štandard Home-Plug AV, ktorý poskytuje rozhranie medzi IEEE 802.3 Ethernet štandardom a štandardom HomePlug. Test je realizovaný v reálnom prostredí domácnosti, kde prenos podlieha vplyvu premenlivého zaťaženia siete a rušení z elektrických zariadení, vrátane PC, lúč, lamp,

chladničiek, mikrovlnnej rúry, atď. Meranie prebehlo s dvojicou PLC adaptérov pripojených priamo do notebookov.

Účelom merania bolo zistiť vplyv vzdialenosti koncových uzlov PLC komunikácie na výkonnosť prenosu. Použitím iperf bola zmeraná priepustnosť TCP a použitím ping Round-Trip Time (RTT) v dvoch uzloch domácej siete pod vplyvom rušení a premenlivej záťaže siete. RTT je čas, za ktorý signál dosiahne prijímač, plus čas, za ktorý dorazí správa o doručení naspäť do zdroja signálu. Pre porovnanie boli v tých istých miestach zmerané tieto parametre aj pre bezdrôtové pripojenie wireless (802.11g). Na Obr. 3.1 je výsledok merania tejto závislosti. PLC prenos sa ukázal ako stabilnejší a s väčším dosahom, čo sa týka priepustnosti aj RTT. V najviac vzdialenom bode dosiahla priepustnosť u Wi-Fi pripojenia iba 22 kbit/s, pričom u PLC až 14,81 Mbit/s [15].



Obr. 3.1: Závislosť priepustnosti a RTT na vzdialenosti pre PLC a 802.11g [15]

Pri meraní vplyvu vzdialenosti na priepustnosť bolo meranie zopakované s použitím 175 m predĺžovacieho kábla. Výsledok ukázal, že vzdialenosť už nemala taký veľký dopad na priepustnosť, ktorá sa pohybovala na zhruba 80 Mbit/s. Jedným z dôvodov je, že 175 metrov predĺžovacej šnúry nie je dosť na to, aby sa ukázal nejaký vplyv vzdialenosti. Keďže pri reálnom meraní priepustnosť výrazne klesla už pri 30 m, bude tento pokles spôsobený hlavne vplyvom spotrebičov, ktorý je rozobraný v nasledujúcej kapitole.

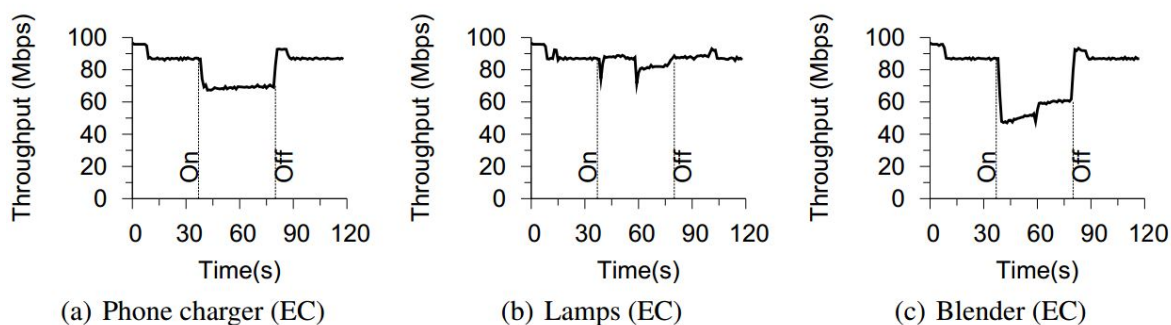
3.2 Vplyv elektrických zariadení pripojených do siete

Štandardizácia fyzickej vrstvy u PLC ukazuje, že rušenie spôsobené elektrickými zariadeniami pripojenými do siete môže nepriaznivo ovplyvniť výkon PLC prenosu.

Nasledujúce meranie v zdroji [15], nadväzujúce na meranie v kap.3.1, bolo zamerané práve na tieto rušenia. Aby sa vyhlo vplyvom rušenia iných zariadení, pri meraní bol využívaný predlžovací kábel, pozostávajúci z viacerých spojených predlžovačích káblov o celkovej dĺžke 175 metrov. PLC adaptéry Linksys PLK200 boli pripojené na oba konce predlžovacieho kábla. Medzi dvomi uzlami bol spustený UDP prenos dát a po krátkej chvíli boli medzi týmito dvomi uzlami zapínané rôzne elektrické zariadenia, viď tab.3.2. Po 40 sekundách boli tieto zariadenia odpojené a prenos pokračoval ďalej. Výsledky sú zobrazené na obr.3.2.

Tab. 3.2: Príkony jednotlivých domácich spotrebičov [15]

Zariadenie	Príkonnosť
Nabíjačka na mobil	5 W
Lampa	150 W
Mixér	350 W

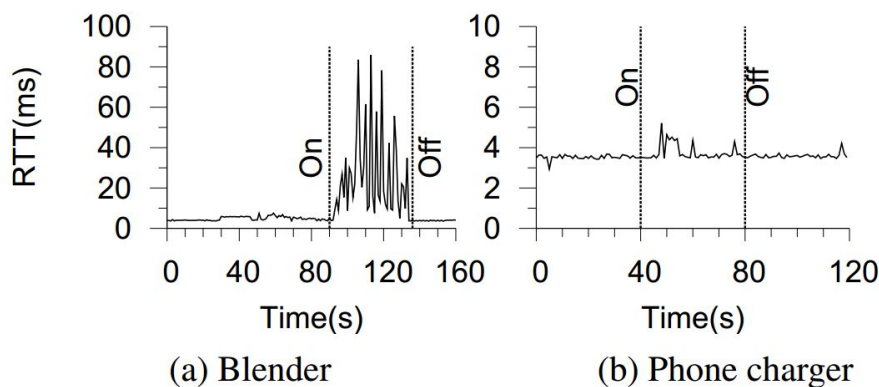


Obr. 3.2: Priepustnosť UDP mení sa v čase medzi dvomi uzlami predlžovacieho kábla [15]

Z merania vyplýva, že u mixéra, ktorý má najvyšší príkon, bol pokles priepustnosti siete najvýraznejší. Lampa aj napriek tomu, že má vyšší príkon ako nabíjačka na mobil, mala najmenší vplyv na priepustnosť. To môže byť spôsobené tým, že lampa je čisto iba odporová záťaž, kým ostatné zariadenia predstavujú indukčnú a kapacitnú záťaž.

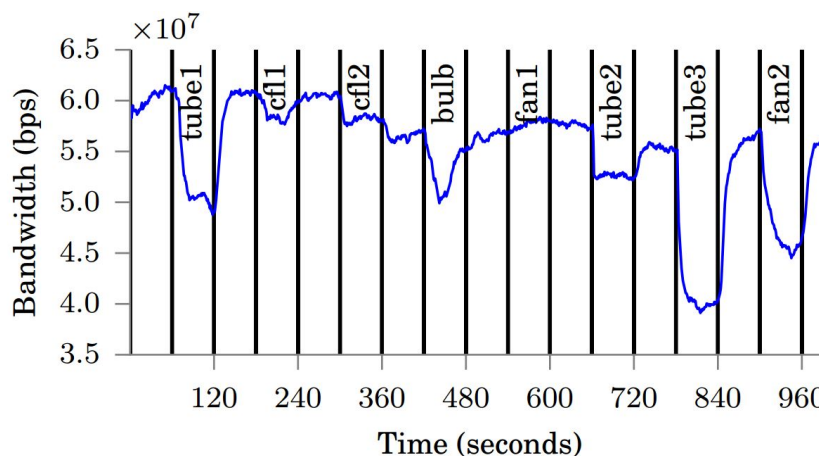
V ďalšom meraní bol namiesto prenosu UDP použitý ping a experiment bol zopakovaný s mixérom a nabíjačkou na mobil. Výsledky závislosti RTT v čase sú zobrazené na obr. 3.3. V čase, kedy bol mixér spustený, dochádza k výraznému nárastu RTT. Čo znamená, že rýchlosť prenášaného signálu po elektrickej sieti klesá. Nabíjačka na mobil mala tiež vplyv, ale v menšej miere. Zo štandardov ustanovených HomePlug AV vyplýva, že zmena správania sa signálu je spôsobená zmenou modulačnej schémy na fyzickej vrstve, ako odpoveď na rušenie vo vedení, zapríčinené

zapnutím mixéra [15]. Z oboch meraní je zrejmé, že prenos dát po elektrickej sieti a jej efektívna priepustnosť sú ovplyvňované hlavne elektrickými zariadeniami pripojenými do siete, ktoré predstavujú záťaž.



Obr. 3.3: Vplyv elektrických zariadení na RTT medzi dvomi uzlami [15]

Nasledujúci zdroj [19] študuje vplyv energeticky úsporných zariadení na priepustnosť siete, ktoré sú umiestnené na fyzicky odlišných miestach, čo spôsobí rozdielny pokles výkonnosti PLC siete. Test prebehol v domácnosti s modemami TPLink s HomePlug AV umiestnenými v rôznych miestnostiach zaznamenávajúc priepustnosť v časových pásmach.

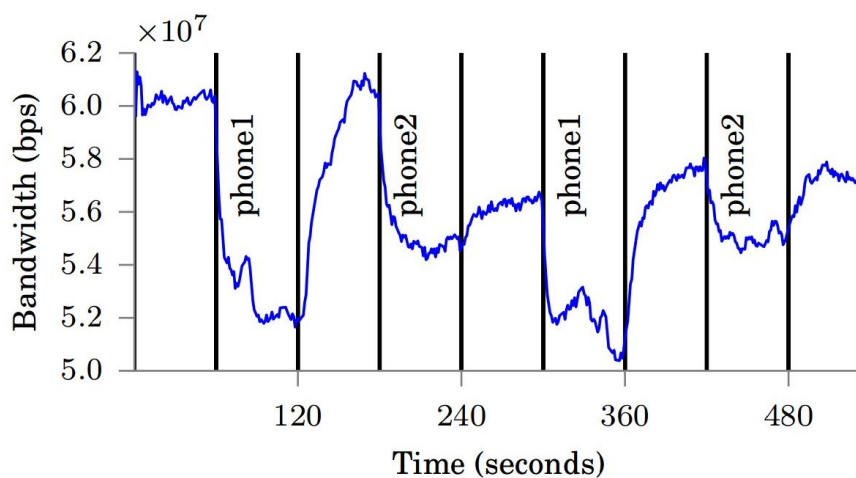


Obr. 3.4: Pokles pripustnosti na základe účinku osvetlenia a ventilátora [19]

Všetky elektrické spotrebiče a zariadenia boli pred začatím testu vypnuté. Následne bola zapnutá prvá žiarivka (tube1) po dobu 60 sekúnd. Po uplynutí bola vypnutá

a v úseku ďalších 60 sekúnd nebolo zapnuté žiadne zariadenie. Takto prebehlo meranie s klasickými žiarovkami (bulb), žiarivkami (tube), kompaktnými žiarivkami (compact fluorescent lamp – cfl) a ventilátorom (fan). Výsledky sú zobrazené na obr.3.4. Prvých päť zariadení na grafe sa nachádza v prvej miestnosti a zvyšné tri v druhej. Kompaktné žiarivky 1 a 2, ktoré sa nachádzajú blízko pri sebe, mali porovnateľný dopad na priepustnosť. Naopak vplyv žiariviek 1, 2, 3 bol rozdielny.

Pri druhom teste boli využité nabíjačky na mobilný telefón, ktorých spotreba je približne 5 wattov, umiestnené na rozličných miestach. Meranie prebehlo opäť v 60 sekundových časových intervaloch. Výsledný graf je na obr.3.5.

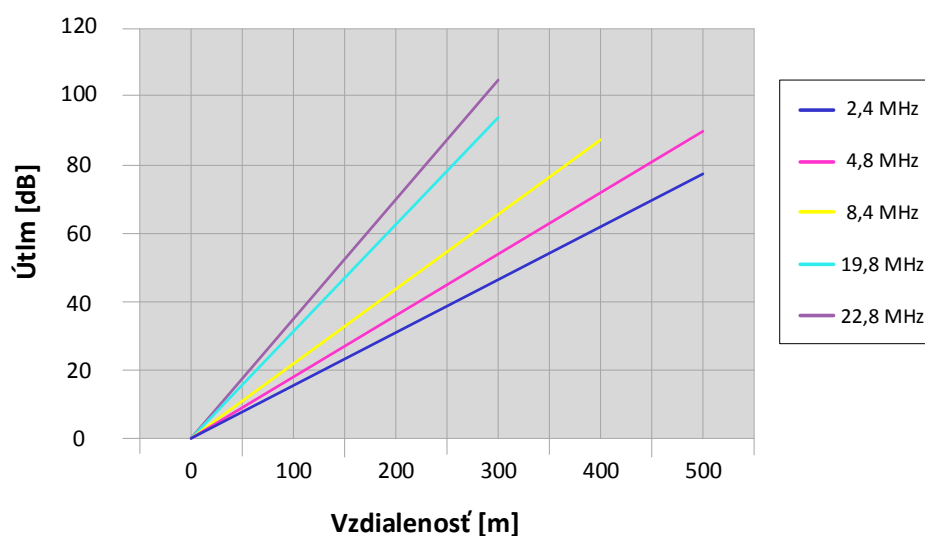


Obr. 3.5: Pokles priepustnosti siete pri zapínaní dvoch nabíjačiek na mobil [19]

Výsledok meraní opäť ukázal, že elektrická záťaž na prenosovej ceste PLC siete negatívne ovplyvňuje prenosovú rýchlosť a následne priepustnosť siete. Tento vplyv sa môže líšiť v závislosti na príkone, ale aj na umiestnení spotrebiča.

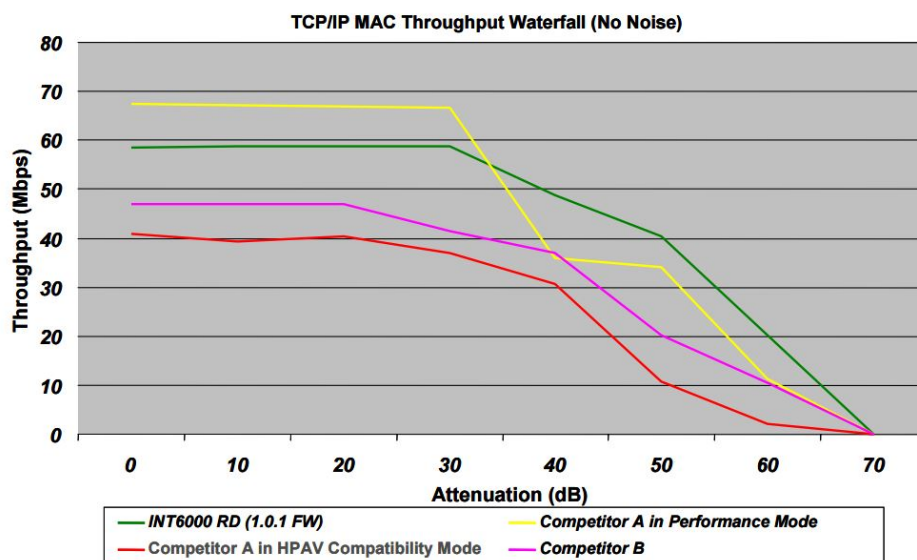
3.3 Vplyv útlmu a impedancie signálu na PLC prenos

Hodnoty útlmu sa menia v závislosti od dĺžky vedenia, ale aj frekvencii. S meniacou sa frekvenciou sa menia aj hodnoty útlmu. Podľa zdroja [20], útlm na médiu narastá so vzdialenosťou prenosovej cesty, vid' obr.3.6. Na obrázku su takisto porovnané útlmy v závislosti na frekvenčnom pásme prenášaného signálu. Vo vyšších frekvenčných pásmach útlm na médiu narastá rýchlejšie ako v nižších. Útlm signálu môže byť závislý aj na topológii elektrickej siete, rôznych záťažiach a samotnej charakteristike vedenia [20].



Obr. 3.6: Závislosť útlmu na vzdialenosti a frekvencii [20]

Hlavným dôsledkom útlmu pri PLC prenose je pokles priepustnosti siete. V zdroji [21] bol vykonaný test, pri ktorom boli porovnávané závislosti TCP priepustnosti na útlme pre rôzne PLC technológie, viď obr. 3.7. Prostredie merania bolo prispôsobené tak, aby nedochádzalo k žiadnym vedľajším rušeniam.



Obr. 3.7: Závislosť pripustnosti na útlme [21]

Výsledný graf ukazuje, že do určitej úrovne útlmu, okolo 30 dB, je priepustnosť približne konštantná, no pri vyšších hodnotách útlmu už priepustnosť lineárne klesá.

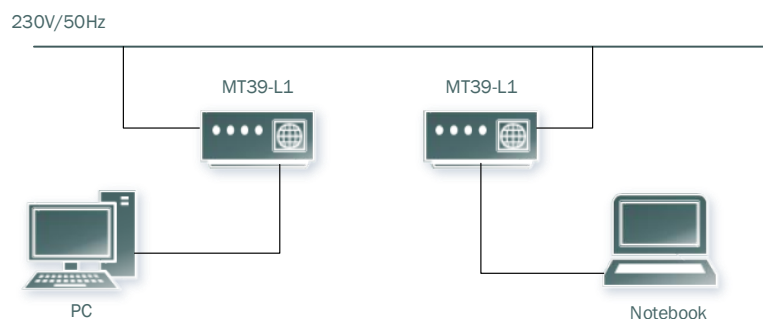
4 REALIZÁCIA MERANÍ PLC PRENOSU

4.1 Meranie s úzkopásmovými modemami ModemTech

Meranie prebiehalo v laboratóriu, kde som zapojila dva úzkopásmové PLC moduly od firmy ModemTech MT39-L1-ver.R do elektrickej siete v určitej vzdialenosti. Na modemy som pripojila počítač a notebook použitím sériového rozhrania. Následne som pomocou prostredia Hercules nastavila sériový port a posielala textové dáta medzi dvomi užívateľmi, pričom pri monitorovaní programom Serial Port Monitor sa priebežne zobrazoval graf odoslaných, prijatých bytov a paketov.

Tab. 4.1: Technické parametre použitého modemu

Typ	Frekvencia nosnej	Modulácia	Prenosová rýchlosť	Externé rozhranie
MT39-L1-ver. R	60kHz – 145kHz	D-BPSK	do 10kbit/s	RS232



Obr. 4.1: Schéma zapojenia MT39-L1

4.1.1 Scenáre merania

Meranie č.1: modemy vzdialené 1 m

Meranie prebiehalo na jednom zásuvkovom obvode vo vzdialenosti približne 1 m.

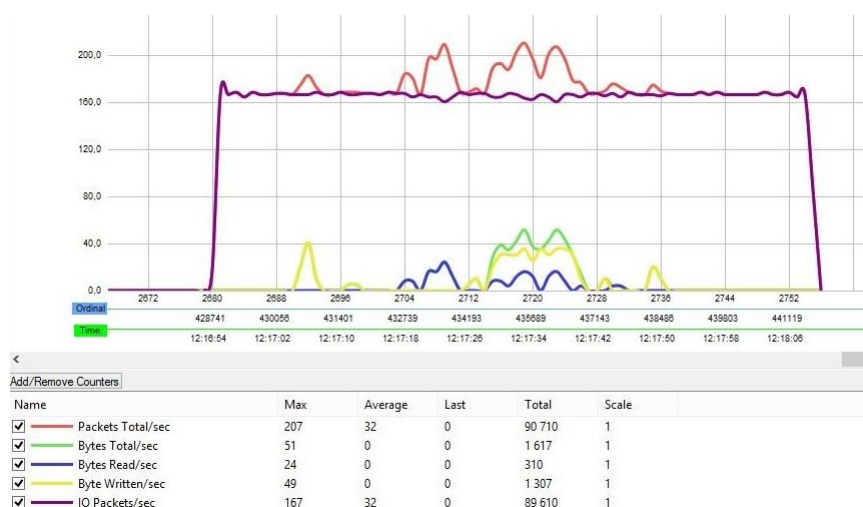
Meranie č.2: modemy vzdialené 1 m, pripojenie vrtačky

Modemy boli zapojené rovnako ako v prvom meraní, na jednom zásuvkovom obvode vo vzdialenosti približne 1 m, kde po 15 sekundách bola zapnutá vrtačka.

Meranie č.3: modemy vzdialené 7 m

Modemy boli zapojené na jednom zásuvkovom obvode vo vzdialenosti približne 7 m.

4.1.2 Výsledky merania



Obr. 4.2: Výsledný graf priebehu komunikácie koncových zariadení

Na obr. 4.2 jemožné vidieť priebeh komunikácie dvoch koncových zariadení pripojených sériovým rozhraním na moduly PLC komunikácie, kde dochádzalo k obojsmernému odosielaniu textových správ.

Prvé meranie na obr. 4.2 ukazuje, že rýchlosť odosielania paketov pri danej prevádzke bola priližne 1,6 kbit/s. Pri druhom meraní, kde bola po 15 sekundách medzi uzlami zapnutá vrtačka, nedošlo k výrazným zmenám v prenosovej rýchlosti. Z teoretického hľadiska by malo dôjsť k zníženiu rýchlosti. Pôsobenie vrtačky na PLC prenos by sme lepšie videli na závislosti útlmu a frekvencie. Meranie č. 3 prebiehalo pri vzdialenosti 7 m. Opäť boli odosielané textové správy medzi koncovými zariadeniami, ale v porovnaní so vzdialenosťou 1 m nedošlo k žiadnej výraznej zmene. Tieto nevýrazné zmeny sú spôsobené tým, že úzkopásmové PLC pracuje na nízkych frekvenciách, a dosah môže byť až jeden kilometer čiže na takej krátkej vzdialenosti ako je 7m sa žiadne výrazne zmeny neukážu.

4.2 Meranie so širokopásmovými modemami Linksys a ZyXEL v domácom prostredí

K dispozícii boli dva páry širokopásmých plug-in modemov Linksys PLE500 a ZyXEL PLA5206v2. Prvý PLC modem bol pripojený cez UTP kábel k WAN sieti a do elektrickej siete 230V. Priepustnosť bola meraná na notebooku pripojenom na druhý PLC modem pripojený do elektrickej siete 230V, a to pomocou online speed testu cez webový prehliadač. Pri meraní boli využité rôzne dĺžky elektrickej siete a takisto zapojenie spotrebičov do obvodu.

Tab. 4.2: Technické parametre použitých plug-in modemov

Typ	Štandard	Frekvenčné pásmo	L1 rýchlosť
Linksys PLE500	HomePlug AV2	30 MHz - 86 MHz	500 Mbit/s
ZyXEL PLA5206v2	HomePlug AV2	2 MHz - 86 MHz	1000 Mbit/s

4.2.1 Scenáre merania závislosti prenosovej rýchlosti na dĺžke prenosovej cesty

Meranie č.1: modemy v jednom zásuvkovom okruhu

Meranie prebiehalo v rámci jednej miestnosti, v rámci jedného zásuvkového okruhu. Kabeláž medzi modemami bola dlhá približne 6 metrov bez zapojenia akýchkoľvek spotrebičov.

Meranie č.2: modemy cez rozvádzač v iných zásuvkových okruhoch

Meranie prebiehalo v rámci dvoch miestností a dvoch rôznych zásuvkových okruhov, ktorého kabeláž viedla cez rozvádzač. Kabeláž medzi modemami bola dlhá približne 25 metrov.

Meranie č.3: pevné pripojenie

Notebook, na ktorom prebiehal test, bol pripojený priamo na rúter.

Meranie č.4: Wi-Fi pripojenie

Notebook bol umiestnený približne 3 m od Wi-Fi rútra.

4.2.2 Výsledky merania závislosti prenosovej rýchlosti na dĺžke prenosovej cesty

Tab. 4.3: Výsledky rýchlostí sťahovania s plug-in PLE500 a PLA5206

	Rýchlosť sťahovania [Mbit/s]	
	Linksys PLE500	ZyXEL PLA5206
Meranie č.1: vzdialenosť 6m, jeden zásuvkový okruh	91,54	91,08
Meranie č.2: vzdialenosť 25m, cez rozvádzač	59,02	88,10
Meranie č.3: pevné pripojenie	92,56	
Meranie č.4: Wi-Fi 3m	49,12	

Z výsledkov merania je zrejmé, že prenosová rýchlosť pri použití širokopásmových modemov je závislá na vzdialenosti medzi modemami. Keď boli modemy zapojené na vzdialenosť približne 6 metrov, bola pri modemoch Linksys rýchlosť sťahovania 91,54 Mbit/s. Na 25 metrov cez rozvádzač bola rýchlosť 59,02 Mbit/s. Je to spôsobené tým, že širšie frekvenčné pásmo pri širokopásmových modemoch môže byť na určitých frekvenciách rušené šumom v sieti, a tým nezaručuje prenos na takú vzdialenosť ako pri úzkopásmových modemoch. Najlepšie vlastnosti má pri najmenšej vzdialenosti a so zvyšujúcou sa vzdialenosťou kvalita prenosu rapídne klesá. Pri porovnaní modemov Linksys PLE500 s frekvenčným rozsahom 30 - 86 MHz, a ZyXEL PLA5206v2 s frekvenčným rozsahom 2 - 86 MHz je možné vidieť výraznú zmenu pri prenose na dlhšiu vzdialenosť. Modemy ZyXEL so širším frekvenčným pásmom sa ukazujú ako stabilnejšie na vzdialenosť, resp. rušenie siete, kde rýchlosť sťahovania pri 25 m klesla iba minimálne, viď tab.4.3.

4.2.3 Scenáre merania rýchlosti prenosu pri pripojení spotrebičov do prenosovej cesty

Modemy som zapojila na vzdialenosť 12 metrov do dvoch rôznych zásuvkových obvodov cez rozvádzač, pričom boli do meraného obvodu zapínané spotrebiče. Všetky tri merania prebiehali v tej istej zásuvke.

Meranie č.1: bez zapnutia spotrebičov

Modemy boli zapojené do dvoch zásuvkových okruhov a umiestnené vo vzdialenosti 12 m cez rozvádzač.

Meranie č.2: zapnutá rýchlovarná kanvica

Meranie prebehlo pri rovnakom umiestení modemov, pričom bola zapnutá rýchlovarná kanvica.

Meranie č.3: zapnutá práčka a rýchlovarná kanvica

Počas merania bola zapnutá práčka a aj rýchlovarná kanvica.

4.2.4 Výsledky merania rýchlostí sťahovania pri pripojení spotrebičov do prenosovej cesty

Tab. 4.4: Výsledky doby stiahnutia dát s plug-in PLE500 a PLA5206

	Doba stiahnutia 200MB	
	Linksys PLE500	ZyXEL PLA5206v2
Meranie č.1: bez zapnutia spotrebičov	50,271 s	72,998 s
Meranie č.2: zapnutá kanvica	54,654 s	67,253 s
Meranie č.3: zapnutá práčka a kanvica	61,188 s	83,452 s

Z merania vyplýva, že pripojenie spotrebičov do istej miery ovplyvňuje rýchlosť sťahovania, či už pri meraní č.2 alebo č.3 s modemami Linksys. Pri modemoch ZyXEL, ktoré by z teoretického hľadiska mali byť rýchlejšie a odolnejšie na rušenie, bola doba trvania dlhšia. To môže byť spôsobené nestabilitou internetového pripojenia v domácom prostredí alebo rozdielnou technológiou. Z tabuľky 4.4 vyplýva, že stiahnutie 200 MB je najpomalšie s pripojenou kanvicou a práčkou do elektrickej siete. Znižovanie rýchlosti nastáva tak, že na určitých frekvenciách vytvárajú spotrebiče rušenie, ktoré zaruší niektoré prenosové kanály PLC prenosu.

5 MERANIE VÝKONU A PRIEBEHU PLC KOMUNIKÁCIE

Merania boli realizované so širokopásmovými modemami ZyXEL PLA 5206 v2 v laboratórnom prostredí. Samotné testy boli zamerané na parametre RFC 2544 metodiky, na vplyv rušenia vytvorený dostupným zdrojom rušenia PROMAX ProPower-1 a dopadom na signál a parametre siete. Pri meraniach bol využívaný tester Exfo FTB-1 generujúci dátový tok, ktorý slúžil na zmeranie potrebných parametrov. Takisto boli porovnané prenosové rýchlosti na vrstvách TCP/IP modelu.

5.1 Použité prístroje

5.1.1 ZyXEL PLA 5206 v2

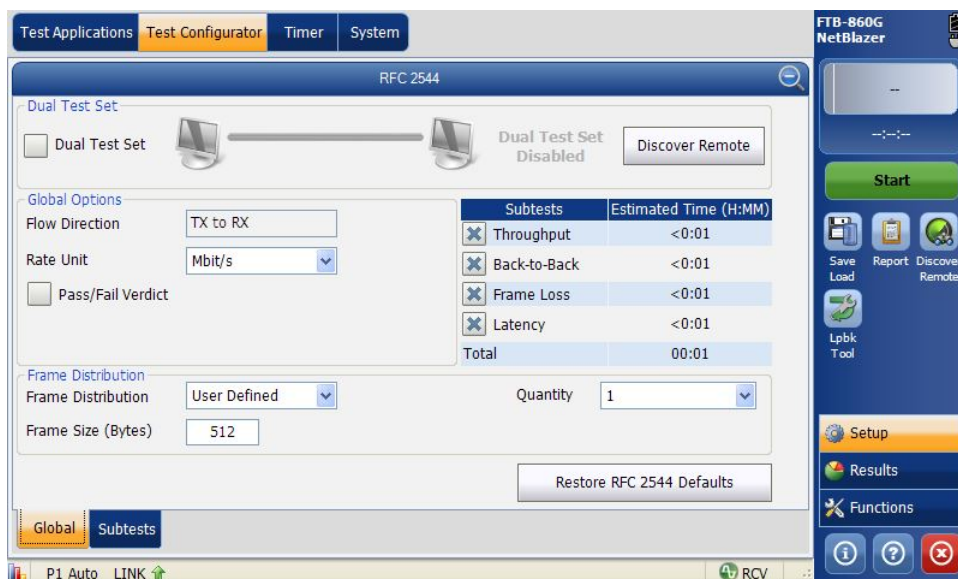
Použité boli modemy od spoločnosti ZyXEL (technické parametre viď kapitola 4.2. ZyXEL PLA 5206v2 je PLC adaptér založený na najnovšom štandarde HomePlug AV2, ktorý poskytuje rýchlosť až 1000 Mbit/s na fyzickej vrstve.

5.1.2 Tester Exfo FTB-1

Na meranie potrebných parametrov boli využívané dostupné testery, tester Trend Unipro GbE a Exfo FTB-1 s modulom FTB-860G NetBlazer. Oba testery sú určené pre testovanie ethernetových sietí, poskytujú podrobné štatistiky a chybové hlásenia na fyzickej aj aplikačnej vrstve, dokážu generovať reálnu dátovú dopravu. Môžu byť využité v rôznych režimoch, napríklad ako koncové meracie zariadenie, meracie zariadenie umiestnené na prenosovej dátovej ceste alebo v režime smyčky. Na získavanie informácií a parametrov siete bol využívaný tester Exfo FTB-1 s modulom FTB-860G NetBlazer, pričom Trend Unipro GbE slúžil iba na otáčanie dátového toku.

5.1.3 Nastavenia Testeru Exfo FTB-1 a metodika RFC 2544

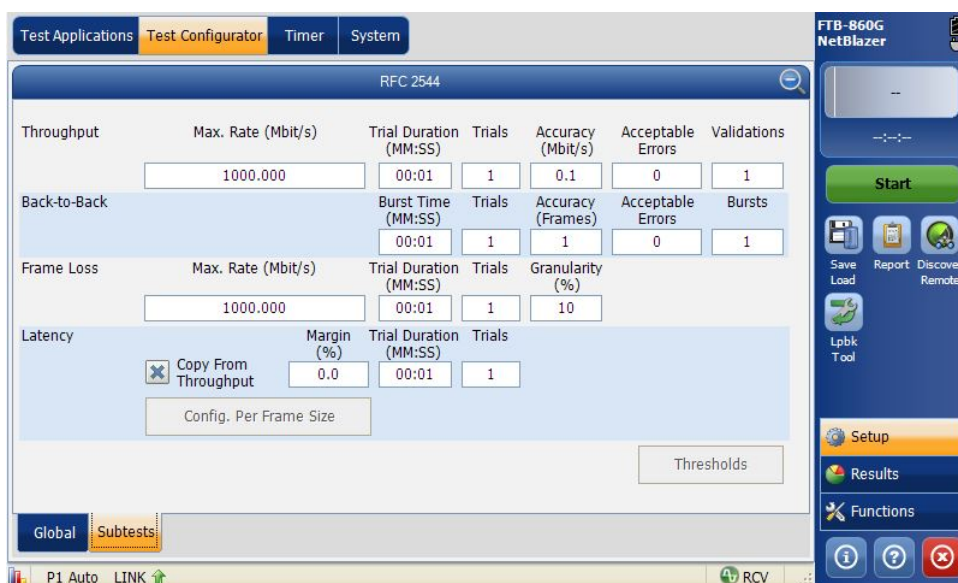
Dokument RFC 2544 definuje špecifickú sadu testov, ktoré môžu byť použité na meranie výkonnostných charakteristík sieťových zariadení. Všetky testy by mali byť vykonávané pri rôznych veľkostiach odosielaných rámcov. Veľkosti rámcov používané pre Ethernet sú 64, 128, 256, 512, 1024, 1280 a 1518 bajtov [22]. Každý test pozostáva z niekoľkých podtestov. Každý podtest vracia jednu časť informácie, napríklad strátovosť pri určitej rýchlosti.



Obr. 5.1: Základné nastavenie testu RFC 2544 na testeri Exfo FTB-1

Veľkosť rámca (Frame Size)

Veľkosť rámca definuje počet oktetov v rámci, od preamble až po koniec FCS, ak sa v rámci nachádza. Veľkosť posielaných rámcov môže vo veľkom ovplyvniť výsledok testov a celkovo všetky parametre siete. Veľkosti rámcov sa volia podľa špecifikácií RFC 2544.



Obr. 5.2: Nastavenie subtestov

Priepustnosť (Throughput)

Priepustnosť je maximálna rýchlosť, pri ktorej žiadny z rámcov nie je zariadením zahodený. Meranie prebieha tak, že je pri určitej rýchlosti odoslaný určitý počet rámcov zariadením. Ak sa počet odoslaných rámcov rovná počtu prijatých rámcov, rýchlosť sa zvyšuje, dokým nedôjde k strate rámcov. Parametre, ktoré je možné nastaviť pri teste priepustnosti:

- **Max. Rate** – maximálna dátová rýchlosť, tj. maximálna rýchlosť odosielania rámcov by mala zodpovedať teoretickej maximálnej rýchlosti média pri danej veľkosti rámca [22]
- **Accuracy** – presnosť, akou je určovaná priepustnosť; prijateľná odchýlka v dátovom toku
- **Acceptable errors** – akceptovateľné chyby vzniknuté počas merania
- **Validations** – počet overení daného výsledku (hodnôt priepustnosti) pre každú veľkosť rámca

Back-to-back

Tento test meria maximálny počet odoslaných a následne prijatých rámcov v rade bez toho, aby došlo k strate rámca. To znamená, že hodnota back-to-back je počet rámcov v najdlhšom zoskupení (sekvencii), kedy nedochádza k nijakým stratám [22].

Strátovosť (Frame Loss)

Strátovosť je percento rámcov, ktoré mali byť odoslané prostredníctvom sieťového zariadenia pri konštatnom zaťažení, ale neboli odoslané z dôvodu nedostatku prostriedkov, tzn. boli zahodené.

- **Max. Rate**
- **Granularity** – percento zníženia frekvencie odosielania snímok pre každú iteráciu [24]

Oneskorenie (Latency)

Je to časový interval, ktorý začína vo chvíli, keď posledný bit vstupného rámca dosiahne vstupný port a končí, keď sa prvý bit výstupného rámca nachádza na výstupnom porte [25].

Trvanie testu (Trial duration)

Cieľom týchto testov je stanovenie rýchlostí podporovaných daným zariadením. Dôležitým bodom je Trial Duration, pre ktoré bude test bežať. RFC odporúča trvanie podtestu minimálne 60 sekúnd pri testoch, ktoré obsahujú binárne vyhľadávanie, ako

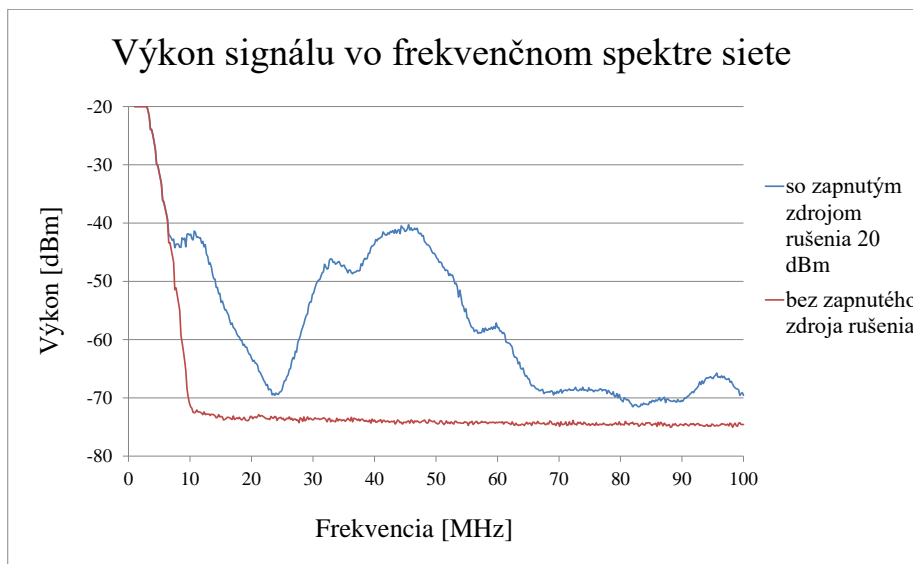
je priepustnosť alebo strátovosť [23]. Defaultné a doporučované hodnoty trial duration pre priepustnosť je 60 sekúnd, pre oneskorenie 120 sekúnd, pre strátovosť 60 sekúnd a pre back-to-back 2000 milisekúnd [26].

5.1.4 Spektrálny analyzátor

Pri meraní a vyobrazovaní frekvenčného spektra PLC signálu bol využívaný spektrálny analyzátor GW Instek GSP-830 (s použitím diferenciálnej sondy MTX 1032-C), ktorý dokáže vyobraziť spektrum až do 3GHz. Navyše pomocou software-u pre zariadenia je možné výsledné spektrá uložiť v podobe obrázku alebo stiahnutých dát. Podrobný popis a postup nastavení potrebných pre dané meranie sa nachádza v prílohe A.

5.1.5 Zdroj rušenia PLC komunikácie

Generátor šumu PROPOWER-1 je zariadenie používané pri testovaní PLC komunikácie. Je možné nastaviť útlm výstupného signálu na hodnotu od 0 do 10 dB, pričom zaruší frekvenčné pásmo od 1 do 50 MHz. Výstupná sila signálu je 20 dBm [27]. Na obrázku 5.3 je zobrazené spektrum signálu v elektrickej sieti bez akéhokoľvek rušenia a so zapnutím zdroja rušenia PROPOWER-1.



Obr. 5.3: Spektrum signálu v sieti bez zapnutia a pri zapnutí zdroja rušenia

Po vyobrazení generovaného signálu zo zdroja rušenia pomocou spektrálneho analyzátoru a porovnaní s teoretickými hodnotami použitého zdroja rušenia sa zistilo, že zdroj rušenia neruší signál rovnomerne v celom frekvenčnom pásme. Z výsledného spektra je zjavné, že zdroj rušenia generuje rušenie v pásme približne od 7

do 73 MHz, pričom spektrálny výkon sa pohybuje od 5 do 33 dBm. Vypočítaný priemerný výkon zdroju rušenia z grafu je 17,2789 dBm.

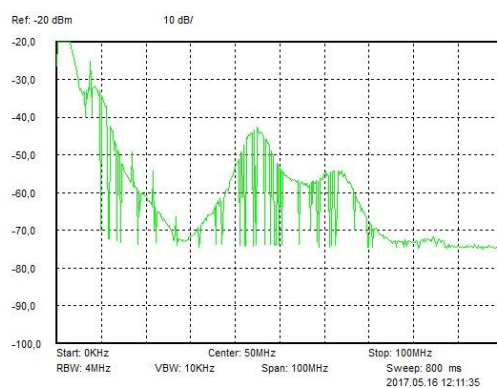
5.2 Meranie vplyvu rušenia na prenos

5.2.1 Meranie pri minimálnej vzdialenosti

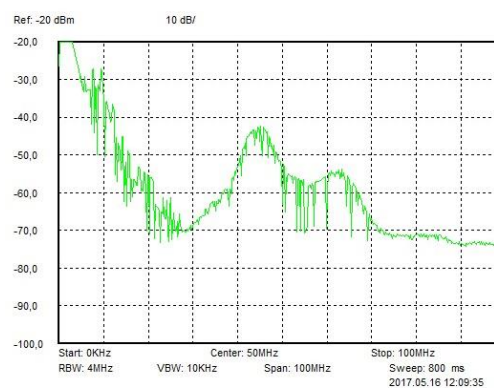
Modem bol zapojený priamo na tester generujúci reálny dátový tok. Pri meraní bola rýchlosť odosielania rámcov nastavená na 150 Mbit/s. Meranie sa opakovalo so zapnutím zdroja rušenia a spektrum signálu bolo zachytené na spektrálnom analyzátore, viď obr. 5.4.

Tab. 5.1: Výsledky nameraných hodnôt pri minimálnej vzdialenosti modemov

Veľkosť rámca [B]	Bez rušenia		S rušením 20 dBm	
	Priepustnosť [Mbit/s]	Strátovosť [%]	Priepustnosť [Mbit/s]	Strátovosť [%]
64	28,500	58,365	28,750	72,407
512	137,676	1,589	68,176	50,540
1518	118,806	0,435	65,317	44,935



a) bez zapnutého zdroja rušenia



b) so zapnutým zdrojom rušenia

Obr. 5.4: Spektrum signálu u modemov zapojených pri sebe

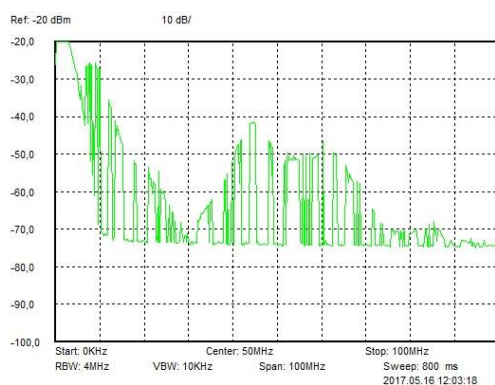
Výsledky merania sú zaznamenané v tabuľke 5.1. Zistilo sa, že u 512 B a 1518 B rámca pri zapnutí zdroja rušenia došlo k výraznému poklesu priepustnosti, približne o polovicu, a naopak výraznému nárastu strátovosti až o 50%. Spektrálny výkon bez zapnutého zdroja rušenia dosahoval hodnoty až 32 dBm a so zapnutým rušením maximálne 17 dBm.

5.2.2 Meranie pri vzdialenosti 20 m

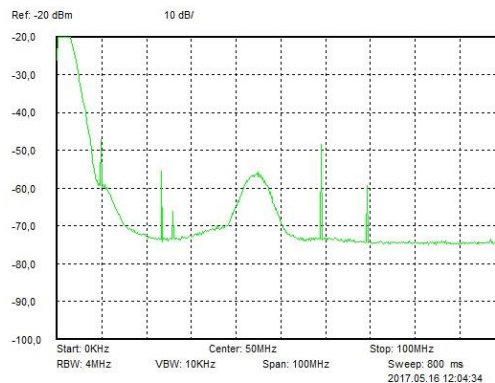
Modemy boli pripojené na tester cez rúter vo vzdialenosti približne 20 m cez miestnosť, kde vznikalo rušenie dôsledkom pripojených počítačov. Meranie sa opakovalo so zapnutím zdroja rušenia a spektrum signálu bolo zachytené na spektrálnom analyzátore.

Tab. 5.2: Výsledky nameraných hodnôt pri vzdialenosti 20 m

Rýchlosť [Mbit/s]	Rámec [B]	Bez rušenia		S rušením	
		Priepustnosť [Mbit/s]	Strátovosť [%]	Priepustnosť [Mbit/s]	Strátovosť [%]
150	64	14,629	81,710	0,000	100,000
	512	20,001	83,720	0,000	100,000
	1518	20,192	83,127	0,000	100,000
40	64	13,026	21,131	0,000	100,000
	512	20,801	37,583	0,000	100,000
	1518	20,343	38,081	0,000	100,000
20	64	10,952	3,065	0,000	100,000
	512	18,571	0,000	0,000	100,000
	1518	16,850	0,000	0,000	100,000



a) bez zapnutého zdroja rušenia



b) so zapnutým zdrojom rušenia

Obr. 5.5: Spektrum signálu u modemov zapojených cez rúter na vzdialenosť 20 m

Z výsledkov tohto merania vyplýva, že vzdialenosť 20 m a pripojené počítače mali výrazný dopad na priepustnosť PLC komunikácie (bez zapnutého zdroja rušenia), ktorá dosiahla maximálne 20,8 Mbit/s. Po zapnutí zdroja rušenia už došlo k úplnej strate spojenia medzi modemami, ktoré ani nenadviazali spojenie, viď obr.5.5 b).

5.3 Meranie priepustnosti a strátovosti siete pri zmene dátovej rýchlosti

Pri meraní bol jeden z modemov ZyXEL PLA 5206 v2 pripojený cez rúter na tester Exfo FTB-1, ktorý generoval reálny tok dát. Druhý modem bol zapojený v rámci tej istej zásuvky na minimálnu vzdialenosť, pričom bol naň pripojený druhý tester Trend Unipro GbE na otáčanie toku dát. Na testeri Exfo boli nastavované rôzne výstupné dátové rýchlosti odosielenia rámcov veľkostí 64, 512 a 1518 bytov. V tabuľke 5.3 sú výsledky nameraných hodnôt na IP vrstve, tj. druhej vrstve TCP/IP modelu.

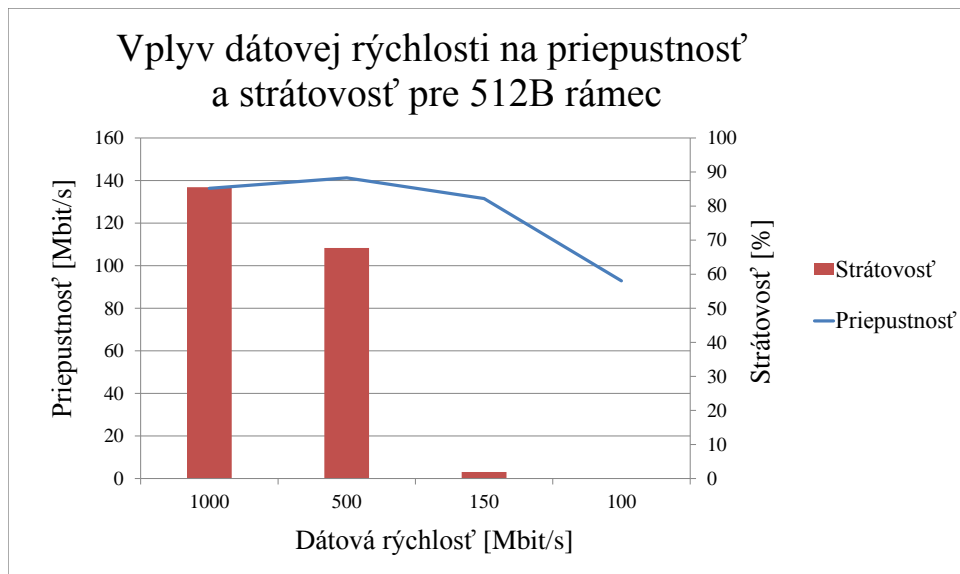
Tab. 5.3: Výsledky nameraných hodnôt pri zmene dátovej rýchlosti

Dátová rýchlosť [Mbit/s]	Veľkosť rámca [B]	Priepustnosť [Mbit/s]	Strátovosť [%]
1000	64	29,641	96,635
	512	136,318	85,551
	1518	169,219	83,711
500	64	28,718	94,933
	512	141,254	67,691
	1518	173,759	68,618
150	64	28,793	80,196
	512	131,538	1,947
	1518	141,463	0,000
100	64	28,203	64,760
	512	92,857	0,000
	1518	97,529	0,000

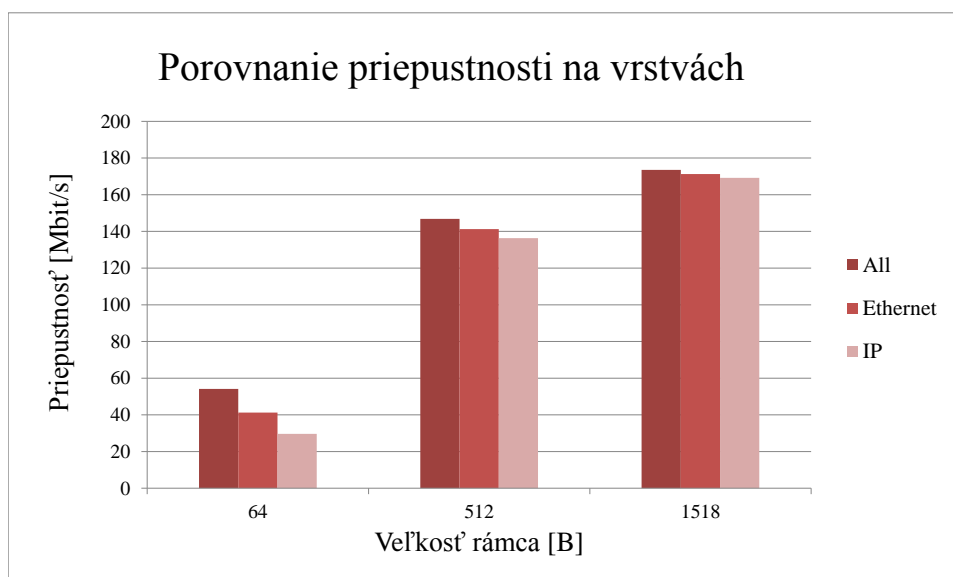
Z nameraných hodnôt vyplýva, že čím väčšou rýchlosťou sú rámce odosielené, tým je vyššia strátovosť. U rámcov veľkosti 512 B a 1518 B bola už pri rýchlosti 150 Mbit/s nulová strátovosť.

Maximálna možná dosiahnutá priepustnosť bola u najväčšieho rámca pri rýchlosti odosielenia 500 Mbit/s, a to 173,8 Mbit/s. Ako najvhodnejšia sa ukázala rýchlosť odosielenia 150 Mbit/s, kde priepustnosť u rámcov 512 B a 1518 B dosahovala hodnoty do 141,463 Mbit/s s takmer nulovou strátovosťou. 64 B rámec vyšiel ako nevhodný, keďže priepustnosť nepresiahla ani 29,6 Mbit/s za stálej viac ako 64% strátovosti.

Z toho vyplýva, že čím je rámec menší, tým je nižšia efektívna priepustnosť ako u väčšieho rámca. To je spôsobené pribalovaním hlavičiek pred rámec, ktoré nie sú považované za dáta.



Obr. 5.6: Vplyv dátových rýchlostí na priepustnosť a strátovosť pre 512 B rámec



Obr. 5.7: Porovnanie hodnôt priepustností na vrstvách TCP/IP modelu (pri dátovej rýchlosti 1000 Mbit/s)

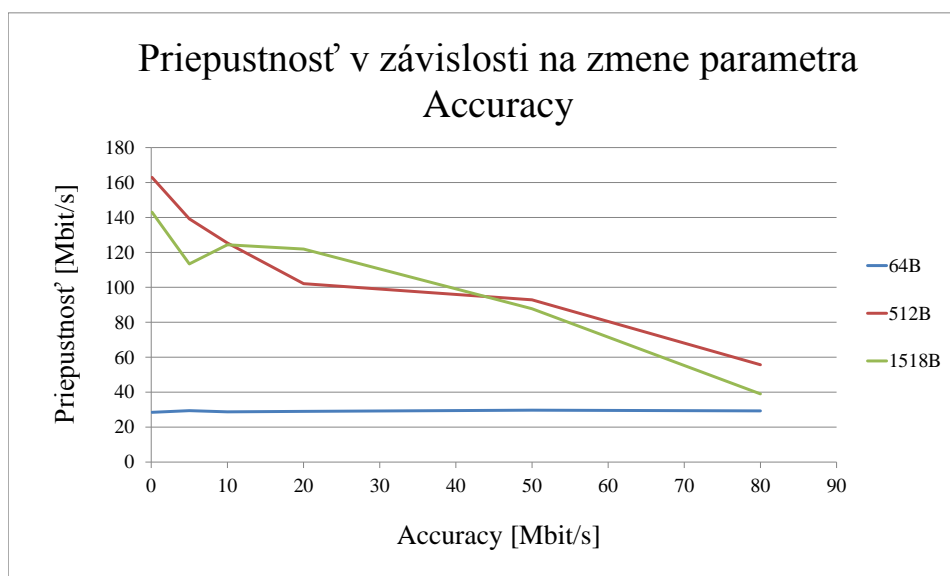
Graf porovnania priepustností zobrazuje priepustnosti na vrstvách podľa výsledku testu RFC 2544. Priepustnosť na sieťovej (IP) vrstve je o niečo nižšia oproti priepustnosti na vrstve spojovej (Ethernet). Dôvodom je väčšia réžia na sieťovej vrstve. Stĺpec ALL – všetky vrstvy zahŕňa celkovú rýchlosť na vrstvách Ethernet, VLAN, MPLS, IP a UDP [28].

5.4 Merania pri zmene parametrov testu RFC 2544

Pri všetkých meraniach bola počiatočná rýchlosť odosielania rámcov 300 MB.

Meranie priepustnosti pri zmene parametra Accuracy

Pri zmene hodnôt parametra Accuracy pri meraní priepustnosti dochádzalo k výraznej zmene hodnôt priepustnosti. Accuracy je parameter presnosť, pričom je využívaný pri iteračnom určovaní hodnoty priepustnosti. Z toho dôvodu sa výsledky pri vysokej hodnote presnosti môžu tak výrazne líšiť.



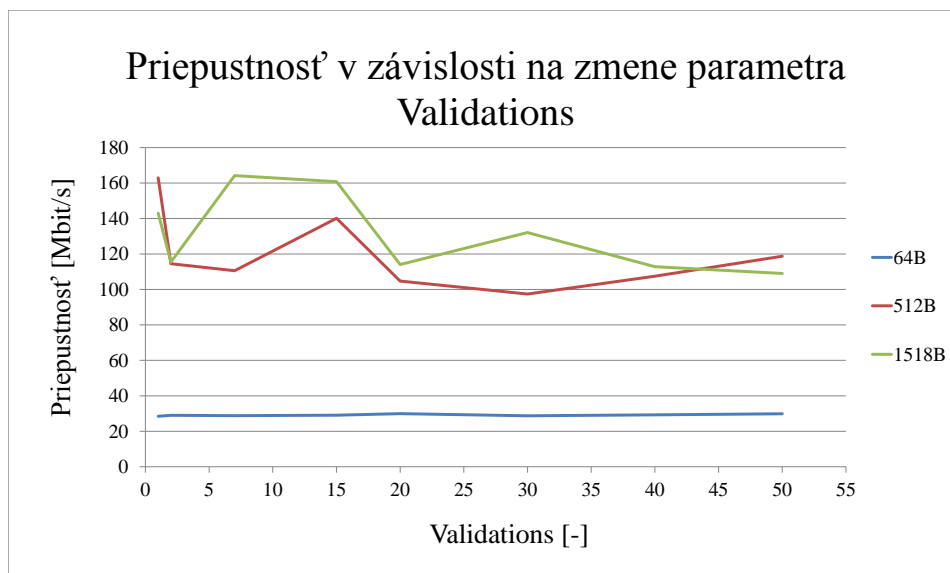
Obr. 5.8: Graf závislosti priepustnosti na parametri Accuracy

Tab. 5.4: Výsledky dôb vykonávania testu pri zmene parametra Accuracy pri priepustnosti

Accuracy [Mbit/s]	Doba testu
0,1	5min 34s
5	3min 10s
10	2min 46s
20	2min 52s
50	2min 16s
80	1min 59s

Meranie priepustnosti pri zmene parametra Validations

Parameter Validations mal pomerne nejasný dopad na priepustnosť. Zmeny na grafe sú pravdepodobne spôsobené nestálosťou siete. Parameter charakterizuje množstvo overení výslednej hodnoty priepustnosti, čiže doba trvania testu výrazne narastá pri vyššom množstve overení, viď tab. 5.5.



Obr. 5.9: Graf závislosti priepustnosti na parametri Validations

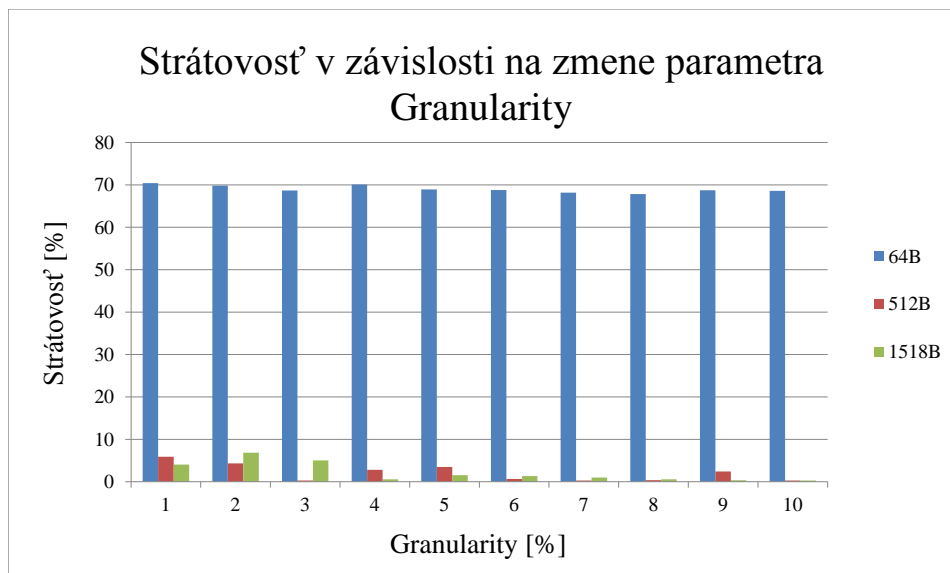
Tab. 5.5: Výsledky dôb vykonávania testu pri zmene parametra Validations pri priepustnosti

Validations	Doba testu
1	5min 34s
7	10min 15s
15	15min 46s
20	17min 48s
30	28min 30s
40	24min 31s
50	32min 57s

Meranie strátovosti pri zmene parametra Granularity

Meranie strátovosti so zmenou parametra Granularity u rámcov 512B a 1518B ukázalo, že pri vyššej hodnote percenta granularity je strátovosť najmenšia. Je to

spôsobené tým, že zvyšovaním percenta granularity sa znižuje frekvencia odosiela-
nia rámcov a tým nie je taký veľký nárok na rýchle vyhodnocovanie. 64B rámec
vykazuje stále veľmi vysokú strátovosť.



Obr. 5.10: Graf závislosti strátovosti na parametri Granularity

6 ZÁVER

Cieľom tejto práce bolo v prvom rade naštudovať problematiku PLC technológie, zamerať sa na rozdelenie prenosov, rozdiely medzi nimi a na analýzu zdrojov, ktoré sa venujú problematike rôznych vplyvov na PLC sieť.

Na základe získaných poznatkov, ktoré sú popísané v prvých troch kapitolách, boli vykonané viaceré merania. Prvá sada meraní sa skladala z testovania úzkopásmových a širokopásmových modemov. Pri meraní úzkopásmových prenosov sa neukázal výrazný vplyv ani vzdialenosti, ani pripojenia spotrebičov na znižovanie prenosovej rýchlosti. Dôvodom je charakteristika úzkopásmového prenosu a to, že neposkytuje vysoké prenosové rýchlosti, ale väčší komunikačný dosah a odolnosť voči rušeniu. Preto sa už v praktickej časti viac nezaoberalo týmto prenosom. Pri meraní širokopásmových modemov typu Linksys PLE500 a ZyXEL PLA5206v2 v domácom prostredí sa zameralo hlavne na prenosové rýchlosti na aplikačnej vrstve pri vplyve rušenia spotrebičov a vzdialenosti. Meraním sa zistilo, že modemy LinkSys, ktoré majú frekvenčné pásmo od 30 MHz do 86 MHz sú menej odolné na rušenie a narastajúcu vzdialenosť, ako modemy ZyXEL so širším frekvenčným pásmom od 2 MHz do 86 MHz. Každopádne u modemov Linksys s menším frekvenčným pásmom bola rýchlosť na aplikačnej vrstve pri vzdialenosti 6 m výrazne vyššia ako pri 25 m. Vplyv pripojenia spotrebičov sa potvrdil aj pri zapnutí dvoch spotrebičov počas prenosu, kedy doba stiahnutia 200 MB dát narástla takmer o 12 sekúnd.

Ďalšia časť práce bola zameraná na meranie výkonu a priebehu PLC komunikácie u modemov ZyXEL PLA5206v2. Bol popísaný tester Exfo FTB-1 s modulom FTB-860G NetBlazer, ktorý obsahuje súbor na meranie testov metodiky RFC 2544. Merateľné parametre metodiky a ich nastavenia boli v práci podrobne rozobraté. Tester bol využívaný v režime smyčky spolu s testerom Trend Unipro GbE, ktorý predstavoval iba zariadenie na otáčanie signálu. Tester EXFO sa využíval na meranie parametrov siete, napríklad priepustnosti a strátovosti pri použití rôznych veľkostí rámcov. V rámci meraní bol využívaný generátor šumu PROPOWER-1 a spektrálny analyzátor GW Instek GSP-830, ktorý vyobrazoval výkonové charakteristiky PLC signálu pri väčšej a menšej vzdialenosti a pri použití zdroja rušenia. Výsledky meraní so zdrojom rušenia pri minimálnej vzdialenosti modemov ZyXEL PLA5206v2 obsahujú graf frekvenčného spektra PLC signálu v sieti, kde bol viditeľný výrazný pokles výkonu signálu z 32 dBm na 17 dBm. Pri vzdialenosti 20 m a pri zapnutí rušenia už modemy neboli schopné nadviazať spojenie. Ďalšia sada meraní ukázala, že maximálna priepustnosť siete bola 173,8 Mbit/s pri 1518 B rámci. V porovnaní s 1000 Mbit/s rýchlosťou na fyzickej vrstve je to dosť výrazný pokles. 64 B rámec vyšiel ako nevhodný, keďže priepustnosť nepresiahla ani 29,6 Mbit/s za stálej viac ako 64% strátovosti. Získané poznatky z týchto meraní je možné ďalej využiť v praxi

pri zefektívňovaní PLC prenosu. Výstupom práce a meraní so spektrálnym analyzátorom bol stručný návod nastavení základných parametrov potrebných pre meranie spektra PLC signálu.

Posledná sada meraní bola zameraná na prácu s testerom EXFO a na testovanie nastaviteľných parametrov metodiky RFC 2544 daných testov priepustnosti a strátovosti. Zameralo sa hlavne na tri parametre - Accuracy, Validations a Granularity. Pri zmenách týchto parametrov boli vyhodnotené dopady na výkonnosť siete. V prípadoch zmeny parametra Accuracy pri priepustnosti došlo k výraznej zmene výsledku, pretože pri iteračnom určovaní výslednej hodnoty sa zaokrúhľuje s väčšou odchýlkou.

Keďže zadanie bolo po dohode s vedúcim upravené, tak návrh novej úlohy s PLC modemami sa neuskutočnil. Namiesto toho bola úloha z predmetu Vyšší techniky datových prenosů výrazne rozšírená. V rámci návodu sa doplnilo niekoľko bodov, ktoré by mohli byť použité pri testovaní PLC komunikácie v rámci cvičení. Laboratórna úloha bola rozšírená o spektrálny analyzátor, ktorý sa v úlohe nenachádzal. Výsledné spektrum je možné porovnať so spektrom vyobrazenom na osciloskope s funkciou FFT, ktorý bol v laboratórnej úlohe už využívaný. Osciloskop s FFT toto spektrum vyobrazí po matematickou prepočte a nie priamo, ako je to u spektrálneho analyzátora. Nasledujúce body rozšírenia obsahovali tester EXFO FTB-1 s modulom FTB-860G NetBlazer a tester Trend Unipro GbE. Vďaka týmto testerom je možné v rámci laboratórnej úlohy zmerať prenosové rýchlosti nie len na fyzickej a aplikačnej vrstve, ale aj na spojovej vrstve a na sieťovej vrstve.

LITERATÚRA

- [1] HRASNICA, H., HAIDINE, A., LEHNERT, R. *Broadband Powerline Communications: Network Design*. 1. vyd: John Wiley Sons, 2004, 290 s., ISBN: 978-0-470-85741-0
- [2] *What's PLC*. [online]. HD-PLC Alliance. [cit. 10. 10. 2016]. Dostupné z URL: <<http://www.hd-plc.org/modules/about/plc.html>>.
- [3] VANČATA, P. *Standardizace širokopásmových systémů přenosu po energetickém vedení*. [online]. 5. 12. 2005. [cit. 27. 10. 2016]. Dostupné z URL: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2005112801>>.
- [4] MIŠUREC, J., MRÁKAVA, P., ADAMKO, D. *Interference in power lines and data communication over narrow-band PLC*. [online]. sep. 2005. [cit. 27. 10. 2016]. Dostupné z URL: <<http://elektrorevue.cz/en/download/interference-in-power-lines-and-data-communication-over-narrow-band-plc/>>.
- [5] CELEBI, H. B. *Noise and multipath characteristics of power line communication channels*. [online]. 2010. [cit. 18. 11. 2016]. Dostupné z URL: <<http://scholarcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2593&context=etd>>.
- [6] FERREIRA, H. CH., HAN VINCK, A. J., et al. *Power Line communication*. [online]. dec. 1999. [cit. 30. 10. 2016]. Dostupné z URL: <https://www.researchgate.net/profile/Hendrik_Ferreira/publication/229714190_Power_Line_Communication/links/53da3c880cf2631430c80491.pdf>.
- [7] GALLI, S., SCAGLIONE, A., WANG, Z. *For the Grid and Through the Grid: The Role of Power Line Communications in the Smart Grid*. [online]. 12. 1. 2011. [cit. 13. 9. 2016]. Dostupné z URL: <<https://arxiv.org/pdf/1010.1973.pdf>>.
- [8] BARABOI, B. *Narrowband Powerline Communication–Applications and Challenges–Part I*. [online]. 3. 3. 2013. [cit. 10. 10. 2016]. Dostupné z URL: <<http://www.edn.com/design/wireless-networking/4408140/1/Narrowband-Powerline-Communication-Applications-and-Challenges-Part-I>>.
- [9] *STN EN 50065-1 - Predmet normy*. [online]. [cit. 10. 10. 2016]. Dostupné z URL: <https://www.sutn.sk/eshop/public/standard_detail.aspx?id=114433>.

- [10] *Konnex PL132 – Power-Line-Communication using the CENELEC-C-Band*. [online]. DOMOLOGIC Home Automation GmbH. 2000, 2003. [cit. 10.10.2016]. Dostupné z URL: <http://www.domologic.de/download/pdf/konnex_pl132_en.pdf>.
- [11] *Power-line communication*. [online]. [cit. 30.10.2016]. Dostupné z URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Power-line_communication>.
- [12] *Difference Between single Carrier and OFDM*. [online]. RF Wireless World. [cit. 10.10.2016]. Dostupné z URL: <http://www.rfwireless-world.com/Articles/Difference_between_SC_and_OFDM.html>.
- [13] BERGER, L. T., SCHWAGER, A., PAGANI, P. et al. *MIMO Power Line Communications: Narrow and Broadband Standards, EMC, and Advanced Processing*. 1. vyd: CRC Press, 2014, 710 s., ISBN: 978-1-466-55752-9
- [14] *Power Line Communication (PLC): Measurements and Filtering the Signals*. [online]. OnFILTER. [cit. 30.10.2016]. Dostupné z URL: <<http://www.onfilter.com/library/AN%20Power%20Line%20Communication.pdf>>.
- [15] MURTY, R., PADHYE, J., et al. *Characterizing the End-to-End Performance of Indoor Powerline Networks*. [online]. [cit. 20.10.2016]. Dostupné z URL: <<http://www.eecs.harvard.edu/~rohan/papers/powerline-tr.pdf>>.
- [16] JONES, K. *OFDM PLC for smart metering*. [online]. 25.2.2009. [cit. 10.10.2016]. Dostupné z URL: <<http://www.newelectronics.co.uk/electronics-technology/ofdm-plc-for-smart-metering/17212/>>.
- [17] BAKKALI, W. *Modeling and optimization of energy consumption for power line communication systems*. [online]. 2.5.2016 [cit. 2.11.2016]. Dostupné z URL: <<https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01310380/document>>.
- [18] LEE, M. K., NEWMAN, R. E., et al. *HomePlug 1.0 Powerline Communication LANs -Protocol Description and Performance Results version 5.4*. [online]. [cit. 13.11.2016]. Dostupné z URL: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.83.6410&rep=rep1&type=pdf>>.
- [19] BATRA, N., GULATI, M., JAIN, P., WHITEHOUSE, K., et al. *Bits and Watts: Improving energy disaggregation performance using power line communication modems*. [online]. 20.9.2014. [cit. 18.11.2016]. Dostupné z URL: <<https://arxiv.org/pdf/1409.5907v1.pdf>>.

- [20] VUJICIC, I., GOSPIĆ, N. *Impact of power line characteristics for providing telecom services*. [online]. okt. 2005. [cit. 18. 11. 2016]. Dostupné z URL: <https://www.researchgate.net/publication/4211133_Impact_of_power_line_characteristics_for_providing_telecom_services>.
- [21] *Powerline Communications Performance Testing* . InTellon Corporation. [online]. 2006. [cit. 18. 11. 2016]. Dostupné z URL: <<https://www.devolo.com/downloads/data/devolo-whitepaper-plc-performance-testing.pdf>>.
- [22] *Request for Comments: 2544*. [online]. 1999. [cit. 5. 3. 2017]. Dostupné z URL: <<https://www.ietf.org/rfc/rfc2544.txt>>.
- [23] *What is difference between Throughput Test and Frame Loss test (RFC 2544 and RFC 1242)*. [online]. 2011. [cit. 5. 3. 2017]. Dostupné z URL: <<http://www.embeddedsystemtesting.com/2011/12/what-is-difference-between-throughput.html>>.
- [24] *RFC Benchmarking Test Suites* . IXIA. [online]. 2007. [cit. 5. 5. 2017]. Dostupné z URL: <<http://test4tot.com/wp-content/uploads/2016/05/RFC2889.pdf>>.
- [25] *Request for Comments: 1242*. [online]. 1991. [cit. 5. 3. 2017]. Dostupné z URL: <<https://tools.ietf.org/html/rfc1242>>.
- [26] *The RFC 2544 Application – Performance Benchmarking for the HaulPass V60 Link* . Vubiq Networks. [online]. 1991. [cit. 5. 3. 2017]. Dostupné z URL: <<http://www.vubiqnetworks.com/wp-content/uploads/Vubiq-RFC2544-App-Tech-Note-27AUG15.pdf>>.
- [27] *PROPOWER-1 Manual*. [online]. 2005. [cit. 5. 4. 2017]. Dostupné z URL: <http://www.promaxelectronics.com/downloads/manuals/3Lang/PROPOWER-1_OMI1333.pdf>.
- [28] *Are We Really Getting the Giga-bit Performance?*. [online]. GL Communications Inc. [cit. 20. 5. 2017]. Dostupné z URL: <<http://www.gl.com/telecom-test-solutions/testing-ethernet-ip-wan-networks.html>>.

ZOZNAM SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK

ASK	Amplitude Shift Keying
BFSK	Binary Frequency Shift Keying
BPSK	Binary Phase Shift Keying
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
CDMA	Code Division Multiple Access
DCSK	Differential Code Shift Keying
EZS	Elektronické zabezpečovacie systémy
FSK	Frequency Shift Keying
GSM	Global System for Mobile Communications
HDR	High Data Rate
HF	Hands-free
ISP	Inter-System Protocol
LDR	Low Data Rate
NN	Nízke napätie
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
OpenADR	Open Automated Demand Response
OpenHAN	Open Home Area Network
PLC	Power Line Communication
PSD	Power Spectral Density
PSK	Phase Shift Keying
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RTT	Round-Trip Time
SVN	Stredne vysoké napätie
VN	Vysoké napätie

ZOZNAM PRÍLOH

A	Návod na obsluhu spektrálneho analyzátora GW Instek GSP-830	50
A.1	Nastavenie základných parametrov pre meranie	50
A.2	PC software	52
B	Návrh rozšírenia laboratórnej úlohy: PLC modemy – Meranie na širokopásmových PLC modemoch s generátorom šumu	55

A NÁVOD NA OBSLUHU SPEKTRÁLNEHO ANALYZÁTORA GW INSTEK GSP-830



Obr. A.1: Spektrálny analyzátor GW Instek GSP-830 - predný panel

Spektrálny analyzátor je využívaný pre vyobrazenie frekvenčného spektra signálu. Pri PLC je pre pripojenie spektrálneho analyzátoru do rozvodnej siete potrebné použiť diferenciálnu sondu (MTX 1032-C).

A.1 Nastavenie základných parametrov pre meranie

Nastavenie frekvencie

Nastavenie frekvenenčného rozsahu volíme podľa použitej technológie (pri meraní s PLC modemami s frekvenčným pásmom 2 - 86 MHz sa môže zvoliť rozsah od 0 - 100 MHz). Pri samotnom nastavovaní konkrétnych hodnôt sa používa numerická a jednotková klávesnica.

Pre zobrazenie možností nastavení frekvencie stlačíme tlačidlo Frequency. Na displeji sa zobrazí panel s viacerými možnosťami nastavení.

Frequency

Pre nastavenie počiatočnej hodnoty frekvenčného rozsahu stlačíme tlačidlo F2 – Start. Hodnotu zadáme použitím numerickej a jednotkovej klávesnice.

Start
0 kHz

F 2

Pre nastavenie koncovej hodnoty frekvenčného rozsahu stlačíme tlačidlo F3 – Stop. Hodnotu opäť zadáme použitím numerickej a jednotkovej klávesnice.



Nastavenie amplitúdy

Amplitúda predstavuje vertikálnu stupnicu na displeji, kde je možné nastaviť referenčný level výkonu, stupnicu alebo jednotku.

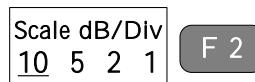
Pre zobrazenie možností nastavení amplitúdy stlačíme tlačidlo Amplitude. Na displeji sa zobrazí panel s možnosťami nastavení.



Pre nastavenie referenčnej hodnoty výkonu stlačíme tlačidlo F1 – Ref.Level. Použijeme numerickú klávesnicu.



Pre nastavenie stupnice vertikálnej osi použijeme tlačidlo F2 – Scale, kde opakovaným stlačením zvolíme požadovanú hodnotu jedného dielika.



Jednotku na vertikálnej stupnici si zvolíme po stlačení tlačidla F3 – Units. Možnosti sú dBm, dBmV a dBuV.



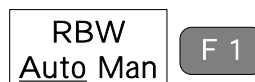
Bandwidth

Funkcia Bandwidth umožňuje viaceré nastavenia.

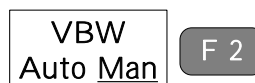
Pre zobrazenie možností nastavení BandWidth stlačíme tlačidlo BW.



RWB (Resolution BandWidth) definuje šírku filtra, ktorý je použitý na rozlíšenie špičiek signálov. Po stlačení tlačidla F1 zvolíme buď automatické alebo manuálne nastavenie.



VBW (Video BandWidth) určuje hladkosť grafu na displeji. Po stlačení tlačidla F2 zvolíme buď automatické alebo manuálne nastavenie.



Sweep time je hodnota, ktorá určuje akou rýchlosťou sa bude zobrazený signál na displeji aktualizovať. Po stlačení tlačidla F3 zvolíme buď automatické alebo manuálne nastavenie.

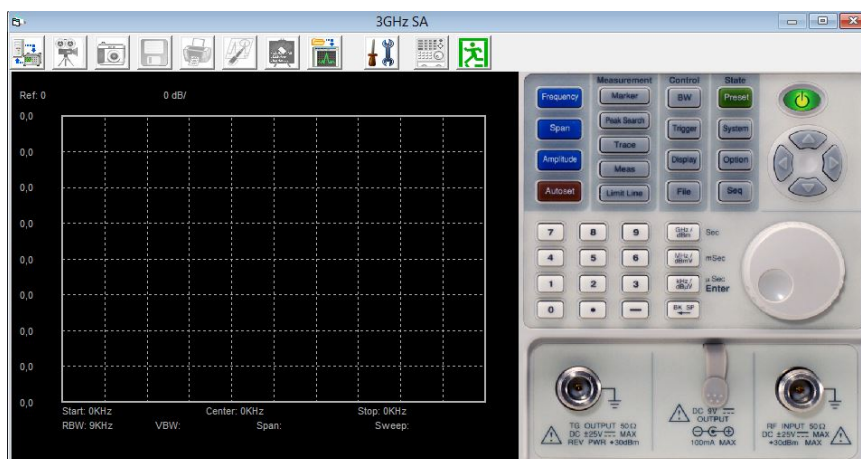
Swp Tm
Auto Man

F 3

Poznámka: Pri meraniach stačí hodnotu RWB a Sweep Time ponechať v automatickom nastavení. Hodnotu VBW je najvhodnejšie zvoliť maximálne do 30 kHz.

A.2 PC software

Súčasťou spektrálneho analyzátoru je aj PC software EagleShot. Software ponúka mnoho možností, napríklad vyobraziť si spektrum na PC, uložiť si toto spektrum ako obrázok alebo stiahnuť priamo namerané hodnoty ako textový súbor.



Obr. A.2: Prostredie programu EagleShot

Pripojenie spektrálneho analyzátoru k PC pomocou USB

Po úspešnej inštalácii je možné software spustiť. Po spustení software-u EagleShot sa zobrazí pracovné prostredie programu, viď obr.A.2.

Po spustení programu je potrebné stlačiť tlačidlo Setting pre výber spôsobu pripojenia.



Zobrazí sa okno, v ktorom je na výber možnosť COM portu alebo USB. Vyberieme USB.



Po pripojení PC k spektrálnemu analyzátoru pomocou USB je potrebné stlačiť ikonu Connect. Po pripojení už nie je možné narábať s nastaveniami spektrálneho analyzátoru.



Zmena nastavení

Zmenu nastavenia frekvencie, amplitúdy alebo BW je možné vykonať tlačidlom Control.



Po stlačení sa zobrazia možnosti nastavení.

Vyobrazenie spektra

Po úspešnom pripojení je už možné si aktuálne spektrum vyobraziť na osi programu EagleShot pomocou tlačidla Capture.



Tlačidlom Clear display odstránime zachytené spektrum z osi.

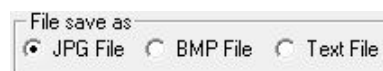


Uloženie grafu spektra

Stlačíme tlačidlo Setting pre výber formátu pre uloženie.



V nastaveniach je možné vybrať, v akom formáte sa dáta uložia – JPG, BMP, Text (surové dáta).



Pre uloženie vopred nastaveného formátu súboru stačí stlačiť tlačidlo Save. Zvolíme si miesto uloženia.



Ukončenie programu

Program EagleShot ukončíme tlačidlom Exit.



B NÁVRH ROZŠÍŘENIA LABORATÓRNEJ ÚLOHY: PLC MODEMY – MERANIE NA ŠIROKOPÁSMOVÝCH PLC MODEMOCH S GENERÁTOROM ŠUMU

Cíl:

Seznámit se s vlastnostmi PLC modemů dle standardu DS2.

Úvod:

PLC (Power Line Communications) je technologie umožňující přenášet data po silových rozvodech elektrické sítě. Datový signál je modulován na kmitočty v řádech jednotek až desítek MHz a tento signál je injektován do elektrické přenosové sítě. PLC systém tedy tvoří modemy, které převádějí nejčastěji Ethernet (10Mb/s, 100Mb/s) na vysokofrekvenční modulaci superponovanou na síťové napětí 50Hz a zpět. Nejpoužívanější modulace u PLC systémů jsou OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) - systémy DS2 a Corinex, GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) - systém ASCOM. Dosažitelná překlenutelná vzdálenost pomocí PLC se pohybuje v řádu jednotek až stovek metrů a přenosové rychlosti v řádech jednotek až desítek Mb/s. pro překlenutí delších vzdáleností se využívá opakovačů. Z hlediska síťového tvoří sestava PLC zařízení v jednodušším případě „distribuovaný rozbočovač“, ve složitějším pak „distribuovaný most“. Zařízení prvního typu jsou vhodná pro propojení jednotlivých počítačů či subsítí v rámci budovy tzv. indoor aplikace, zatímco zařízení druhého typu lze již použít pro řízenou a zabezpečenou distribuci dat v rámci lokality zahrnující i více koncových účastníků a vytvořit plnohodnotnou přístupovou síť (tzv. outdoor aplikace PLC).

Zařízení PLC, která jsou v laboratoři k dispozici, jsou postavena na bázi čipu z rodiny DS2 a umožňují vybudovat síťovou strukturu, „distribuovaný most“. Tato PLC síť se skládá ze zařízení trojího druhu:

- **HE (Head-end)** – zařízení propojující WAN síť s PLC přístupovou sítí na nízkonapěťových elektrických rozvodech. Toto zařízení převádí připojenou ethernetovou přípojku na elektrickou síť.
- **REP (Repeater)** – zařízení sloužící k zesílení (opakování) vř signálu. Je možné použít frekvenční sdílení pásma (přijem a vysílání probíhají na různých frekvencích), časové sdílení pásma, nebo jejich kombinace.
- **CPE (Customer Premises Equipment)** – koncový uživatelský modem; zařízení pro zpětný převod vř modulace na ethernet rozhraní (RJ45, 100Mbit

Ethernet).

Pomocí těchto třech typů zařízení lze vybudovat hierarchickou PLC síť s kořenovým HE modemem, případně mezilehlými REP (v několika úrovních) a koncovými CPE modemem u připojených počítačů. Rozsah takové sítě může být dle použitého typu HE desítky až stovky koncových počítačů.

Nedílnou součástí PLC sítě je **NMS – Network Management Systém**, systém pro konfiguraci, správu a sledování PLC sítě.

V rámci merania je využívaný spektálny analyzátor, pri ktorom je nutné použiť diferenciálnu sondu pre pripojenie do elektrickej siete. Spektrálny analyzátor umožňuje zobraziť frekvenčné spektrum signálu priamo bez matematického prepočtu.

Tester **EXFO FTB-1 s modulom FTB-860G NetBlazer** je využívaný na meranie parametrov sietí. Obsahuje metodiku RFC 2544, ktorá definuje špecifickú sadu testov (napríklad test priepustnosti alebo strátovosti), pri použití rôznych veľkostí rámcov a možnosti rôznych nastavení testov.

Zapojení laboratorní úlohy:

Obr. B.1 uvádí zapojení úlohy. Směrovač s funkcí správy PLC sítě NMS (Network Management System) je připojen do podsítě a má WAN IP adresu 192.168.20.58. V jeho lokální síti LAN je jeho IP adresa 192.168.0.1 a dynamicky přiděluje rozsah IP adresu 192.168.0.2 – 192.168.0.50. Pro potřeby správy PLC sítě je vytvořena druhá podsít 192.168.1.x. Konfigurační webovské rozhraní je tedy dostupné:

- z vnitřní sítě na IP adrese: 192.168.0.1,
- z vnější sítě na IP adrese 192.168.20.58.

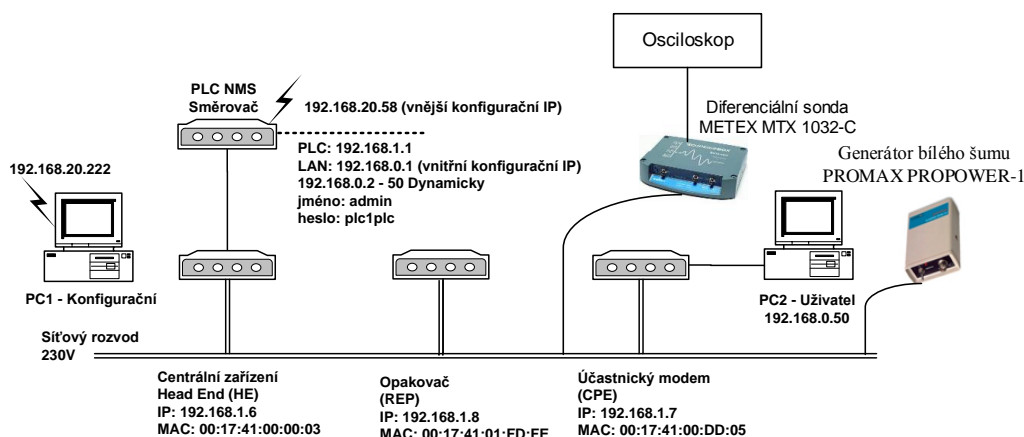
Pro přístup k webovskému rozhraní použijte program Firefox (IE nepracuje korektně), kde zadejte jednu s uvedených adres, dle strany směroavče ze které přistupujete. Dále je nutno zadat:

- jméno: *admin*
- heslo: *plc1plc*

K směrovači je připojen HE. Uživatel (PC2) je připojen PLC modemem nakonfigurovaným jako uživatelský modem CPE. V přenosové trase mezi HE a účastnickým modemem CPE je možno pro zvýšení překlenutelné vzdálenosti vložit opakováče REP. U PLC modemů DS2 jsou jednotlivá zařízení HW identická, jejich funkce se určuje pouze SW konfigurací. Dále je připojen generátor bílého šumu pro simulaci rušení a přes diferenciální sondu osciloskop pro analýzu spektra.

Zadání:

1. Pomocí NMS nastavte jednotlivé PLC modemy tak, aby tvořily lokální PLC síť odpovídající obr. 1, PLC modemy v této fázi zapojte v rámci jednoho



Obr. B.1: Schéma zapojení úlohy

zásuvkového panelu 230V. K NMS centru se přistupuje pomocí webovského rozhraní (192.168.0.1 z vnitřní sítě, 192.168.20.58 z vnější sítě). IP adresy PLC zařízení (192.168.1.X) neměňte.

- Ověřte funkčnost vytvořené sítě, změřte a zaznamenejte přenosové rychlosti jak na fyzické tak aplikační vrstvě, metodu zjištění přenosových rychlostí si zvolte podle svého uvážení.
- Pomocí digitálního osciloskopu s funkcí FFT zobrazte spektrum signálů přítomných na síťovém rozvodu 230V. Při měření uvažujte sledované kmitočtové pásmo a velikost injektovaného signálu.
 - Zjištěné spektrum porovnejte s průběhy SNR z dat získaných z PLC modemů (NMS centrum, program DS2Status, který je umístěn v adresáři PLC na PC2) a se spektrem signálů v síťovém rozvodu 230V bez připojených PLC modemů.
 - Měření provedte pro nastavení modemu pro kmitočtové pásmo 4 až 34 MHz (mód 6) a minimálně jedno další pásmo dle vlastního výběru (nastavuje se na záložce Signál v NMS).
- Pomocou spektrálního analyzátoru s diferenciální sondou si zobrazte spektrum signálů v síti 230V a porovnejte ho so spektrem zobrazeného pomocou digitálního osciloskopu s funkcí FFT. Uvažujte sledované kmitočtové pásmo.
- Změřte a zaznamenejte závislost přenosových rychlostí na dálce vedení.

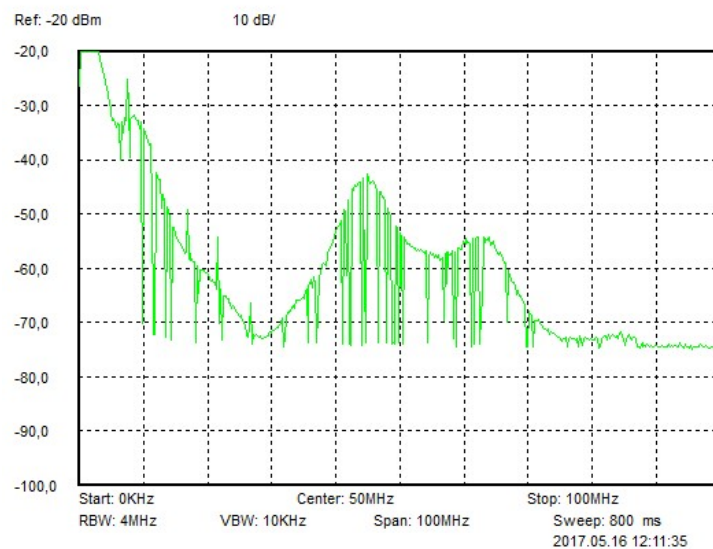
Na směrovač připojte tester EXFO FTB-1 s modulom FTB-860G NetBlazer a na účastnický modem tester Trend Unipro GbE. Testery budou fungovat v režimu smyčky. Spustíte NetBlazer a vyberte soubor TRAFFIC. V záložce Stream je potom možné sledovat priepustnosť siete na druhej vrstve.

- Při tomto měření využijte síťového rozvodu v laboratoři a na chodbách 2., 3. a 4. patra. HE nechte zapojený v lab. 339. Při zpracování využijte plánek, které jsou uvedeny v příloze.

- b) U PLC modemů nastavte max. kmitočtové pásmo 4 až 34 MHz.
- c) Ověřte funkci opakovače a jeho vliv na zvýšení dosahu.
- 6. Na testeru EXFO zvolte soubor RFC 2544. Vykonajte porovnanie priepustnosti a strátovosti pri rôznych veľkostiach rámcov. Vygenerovaná správa z merania obsahuje prenosové rýchlosti na druhej (MAC) a tretej vrstve. Porovnajtie tieto hodnoty s prenosovými rýchlosťami fyzickej a aplikačnej vrstvy. Okomentujte vplyv výberu veľkosti rámca na výsledky.
- 7. Zapojte do sítě generátor bílého šumu PROMAX ProPower-1. Zjistěte vliv tohoto generátoru na kmitočtové spektrum. **Zobrazte spektrum tohoto rušení na osciloskope s funkcí FFT a na spektrálním analyzátoru. Porovnejte.** Proveďte tři měření pro různé vzdálenosti a určete vliv generátoru na PLC komunikaci. Zobrazte spektrum PLC komunikace.
 - a) Nastavte generátor na úrovně rušení 50% (popřípadě 75%) a 100%, zjistěte rozdíl odstupu signálu od šumu.
 - b) Určete rychlost komunikace na aplikační vrstvě bez generátoru bílého šumu a při jeho výkonech 50% a 100%.
 - c) Zjistěte rychlost odezvy serveru v závislosti na výkonech generátoru šumu.
- 8. **Pri využití testeru EXFO v režime smyčky dochádza k prevádzke v oboch smeroch. Uvažujte vplyv režimu smyčky a možnosť pripojenia druhého testeru EXFO na parametre siete.**
- 9. Výsledky zpracujte do tabulek, vyneste do grafů a vše zhodnoťte.

Řešení problémů:

- Navazování spojení trvá delší dobu, mějte tedy strpení. V praxi jsou modemy zapojeny trvale a není tedy nutno čekat na navázání spojení.
- Příznak: Modemy se v konfiguračním menu zobrazují červeně. Odstranění: Vyčkejte, přečtěte důvod chyby. Resetujte nadřazený modem.
- Příznak: CPE modem se v konfiguračním menu zobrazuje žlutě. Odstranění: Nejpravděpodobněji neodpovídá nakonfigurovaná struktura sítě reálné. CPE modem není připojen na opakovač, ale přímo na HE. Strukturu s opakovačem můžete vnutit volbou na CPE – Network – Minimum number of hops to the HE: 1.



Obr. B.2: Ukážka frekvenčného spektra PLC signálu zo spektrálneho analyzátora

Tab. B.1: Ukážka výsledku testu priepustnosti metodiky RFC 2544

Veľkosť rámca	Priepustnosť na vrstve [Mbit/s]:	
	Vrstva Ethernet	Vrstva IP
64	39,956	28,718
512	146,400	141,254
1518	175,845	173,759

Tab. B.2: Ukážka výsledku testu strátovosti metodiky RFC 2544

Veľkosť rámca	Strátovosť [%]
64	80,196
512	1,947
1518	0,000